

**III Edición Máster en Gestión Fluvial Sostenible y Gestión Integrada de Aguas
UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA, CURSO ACADÉMICO 2010-2012**

TRABAJO FIN DE MÁSTER:

**ANÁLISIS CRÍTICO DE LA PROBLEMÁTICA Y
LAS SOLUCIONES ADOPTADAS A NIVEL EUROPEO
EN LA GESTIÓN DE LAS AGUAS PLUVIALES
EN ENTORNOS URBANOS.
POSIBLES APLICACIONES EN ESPAÑA.**

Alumnos:

García González, Eduardo

Ibáñez Gallego, María Paz

Mosqueira Martínez, Gonzalo

Directora:

Soriano Martínez, Lucía

"El presente trabajo es un ejercicio práctico de Máster presentado para optar al certificado de aptitud por los autores, realizado en parte como supuesto real y en parte con contenidos académicos. Su contenido, calidad y adecuación a la realidad son de la exclusiva responsabilidad de sus autores, así como los cálculos, aseveraciones, conclusiones y recomendaciones. Éstas no tienen por qué coincidir con las de los tutores-directores del trabajo, ni del Máster, ni de sus organismos patrocinadores. La existencia de este trabajo no supone su aprobación ni la aceptación de su contenido."

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	10
- CAPÍTULO 1 -	
LA GESTIÓN DE LAS AGUAS PLUVIALES DESDE UNA PERSPECTIVA HIDROLÓGICA..	12
1- INTRODUCCION.	12
2- CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS DE DRENAJE EN ÁMBITOS URBANOS.	13
3- MODELOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS: ESTADO ACTUAL Y NUEVAS TECNOLOGÍAS.	15
4- GESTIÓN DE SOLUCIONES EN EL ÁMBITO DE LA HIDROLOGÍA.	16
5- EL CAMBIO CLIMÁTICO Y SU RELACIÓN CON LA HIDROLOGÍA DE LAS AGUAS PLUVIALES.	18
- CAPÍTULO 2 -	
LA GESTIÓN DE LAS AGUAS PLUVIALES DESDE UNA PERSPECTIVA QUÍMICA	19
1- INTRODUCCIÓN.	19
2- FUENTES DE CONTAMINACIÓN DE LA ESCORRENTIA URBANA.	19
2.1- CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA	20
2.2- CONTAMINACIÓN PRESENTE EN LA SUPERFICIE DE LA CUENCA.	21
3- CONTAMINACIÓN ASOCIADA A LOS CAUDALES DE TIEMPO SECO DE LAS AGUAS RESIDUALES	25
3.1 CARGAS DE CONTAMINACIÓN EN LAS AGUAS RESIDUALES	25
3.2 VARIACIÓN TEMPORAL DE LA CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES	26
3.3 CONTAMINACIÓN ASOCIADA A DEPÓSITOS DE SEDIMENTOS EN LAS REDES DE SANEAMIENTO.	28
4- LA CONTAMINACIÓN EN TIEMPO DE LLUVIA.	30
4.1 LAS REDES SEPARATIVAS DE AGUAS PLUVIALES	32

4.2 LAS REDES UNITARIAS DE ALCANTARILLADO	33
4.3 COMPARATIVA DE LOS CONTAMINANTES ENCONTRADOS EN LAS REDES UNITARIAS Y SEPARATIVAS.....	34
- CAPÍTULO 3 -	
LA GESTIÓN DE LAS AGUAS PLUVIALES DESDE UNA PERSPECTIVA MEDIOAMBIENTAL.....	36
1- INTRODUCCIÓN	36
2- IMPACTOS DE LAS DESCARGAS URBANAS EN LOS MEDIOS RECEPTORES	36
2.1 CAMBIOS EN LA CALIDAD DEL AGUA.....	38
2.2 IMPACTO SOBRE LAS COMUNIDADES BIOLÓGICAS	40
2.3 RIESGOS PARA LA SALUD PÚBLICA. OTROS IMPACTOS.....	41
3- ESTANDARES DE CALIDAD DE AGUAS PARA SUCESOS TRANSITORIOS DE CONTAMINACION POR DESCARGAS INTERMITENTES.....	41
3.1 CRITERIOS, ESTÁNDARES Y OBJETIVOS DE CALIDAD DE AGUA.....	43
3.2 ASPECTOS COMPLEMENTARIOS PARA EL ANÁLISIS DE SUCESOS DE CONTAMINACIÓN TRANSITORIOS.....	43
3.3- ESTÁNDARES DISPONIBLES PARA SUCESOS TRANSITORIOS DE CONTAMINACIÓN	45
- CAPÍTULO 4 -	
LA GESTIÓN DE LAS AGUAS PLUVIALES DESDE UNA PERSPECTIVA SOCIAL	49
1- INTRODUCCIÓN.....	49
2- PROBLEMAS DE ÍNDOLE SOCIAL RELACIONADOS CON LA GESTIÓN DE LAS AGUAS PLUVIALES EN ÁMBITOS URBANOS.....	49
3- LA RESOLUCIÓN DE LOS PROBLEMAS SOCIALES RELACIONADOS CON LA GESTIÓN DE LAS AGUAS PLUVIALES.....	51
4- EXPERIENCIAS EN ESTE ÁMBITO.....	52
4.1- EXPERIENCIAS DE LOS PLANES MAESTROS DE DRENAJE URBANO.....	52
4.2- OTRAS EXPERIENCIAS EDUCATIVAS Y DE PARTICIPACIÓN PÚBLICA.....	54

- CAPÍTULO 5 -	
LA GESTIÓN DE LAS AGUAS PLUVIALES DESDE UNA PERSPECTIVA LEGAL Y NORMATIVA	56
1- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA: ELEMENTOS CLAVE QUE HABRÍA QUE LEGISLAR.....	56
2- LEGISLACIÓN RELATIVA A LA ORDENACIÓN DEL TERRITORIO.....	57
3- LEGISLACIÓN EN MATERIA DE CANTIDAD Y CALIDAD DE AGUAS RELACIONADA CON LA GESTIÓN DE LAS AGUAS PLUVIALES.....	60
3.1- SITUACIÓN LEGISLATIVA A NIVEL EUROPEO. MARCO LEGISLATIVO GENERAL.....	62
3.2- LA SITUACIÓN NORMATIVA A NIVEL NACIONAL.....	62
3.3- EL FUTURO DE LA LEGISLACIÓN ESPAÑOLA DE VERTIDOS. EL BORRADOR DEL NUEVO RDPH.....	68
4- NORMATIVA EN EL ÁMBITO DE LA CONSTRUCCIÓN RELACIONADA CON LA GESTIÓN DE LAS AGUAS PLUVIALES.	72
4.1- LA INSTRUCCIÓN PARA EL PROYECTO DE CONDUCCIONES DE VERTIDOS DESDE TIERRA AL MAR.	72
4.2- LA NORMA UNE-EN 752: SISTEMAS DE DESAGÜES Y DE ALCANTARILLADO EXTERIORES A EDIFICIOS.....	72
4.3- CRITERIOS DE DISEÑO DE COLECTORES Y EDAR PARA UNA ADECUADA GESTIÓN DE LAS PLUVIALES.	73
4.4- EL CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN.....	73
4.5- OTRA NORMATIVA.....	74
5- SOLUCIONES JURÍDICAS EN OTROS PAÍSES DE LA UNIÓN EUROPEA.	75
- CAPÍTULO 6 -	
LA GESTIÓN DE LAS AGUAS PLUVIALES DESDE UNA PERSPECTIVA TÉCNICA	78
1- INTRODUCCION.	78

2- EL ENFOQUE TÉCNICO TRADICIONAL. LA ELECCIÓN DE REDES UNITARIAS O REDES SEPARATIVAS.	78
3- LAS CARENCIAS DEL ENFOQUE TRADICIONAL. PROBLEMAS TÉCNICOS RELACIONADOS CON EL DRENAJE URBANO.	80
4- EL NUEVO ENFOQUE TÉCNICO. LOS SISTEMAS DE DRENAJE URBANO SOSTENIBLE.	83
5- SELECCIÓN DE LAS TECNICAS DE DRENAJE MÁS ADECUADAS.	87
- CAPÍTULO 7 -	
LA GESTIÓN DE LAS AGUAS PLUVIALES DESDE UNA PERSPECTIVA DE ORDENACIÓN DEL TERRITORIO Y DEL PLANEAMIENTO URBANÍSTICO	89
1- INTRODUCCIÓN.	89
2- LA ORDENACIÓN DEL TERRITORIO.	89
3- PLANTEAMIENTO URBANISTICO.	90
4- PROBLEMÁTICA DEL USO DEL SUELO.	93
5- LEGISLACION URBANISTICA.	93
6- ACTUACIONES PARA MEJORAR EL DRENAJE URBANO.	94
- CAPÍTULO 8 -	
LA GESTIÓN DE LAS AGUAS PLUVIALES DESDE UNA PERSPECTIVA ECONÓMICA	97
1- INTRODUCCIÓN.	97
2- ANÁLISIS DE LOS COSTES ASOCIADOS A LA GESTIÓN DE LAS AGUAS PLUVIALES.	97
3- ANÁLISIS DE LOS BENEFICIOS ECONÓMICOS DERIVADOS DE LA GESTIÓN DE LAS AGUAS PLUVIALES.	100
4- APLICABILIDAD DE LA DIRECTIVA MARCO DEL AGUA EN ESTE CONTEXTO.	101
5- LA FINANCIACIÓN DE LA GESTIÓN DE LAS AGUAS PLUVIALES. ANÁLISIS DE LOS PRINCIPALES INSTRUMENTOS ECONÓMICOS EMPLEADOS EN LA UE.	105
6- OTROS INSTRUMENTOS ECONÓMICOS. EL <i>CUMPLIMIENTO ALTERNATIVO EN LA GESTIÓN DE LAS AGUAS PLUVIALES</i>	109
- CAPÍTULO 9 -	

NECESIDAD DE UN ENFOQUE INTEGRAL EN LA GESTIÓN DE LAS AGUAS PLUVIALES EN ÁMBITOS URBANOS	113
1- INTRODUCCIÓN.	113
2- IDEAS PARA UNA GESTIÓN INTEGRAL DE LAS AGUAS PLUVIALES.....	113
3- DIFICULTADES EN LA IMPLANTACIÓN DE UNA GESTIÓN INTEGRAL DE LAS AGUAS PLUVIALES	115
4- INDICADORES PARA EVALUAR EL ÉXITO EN LA IMPLANTACIÓN DE LA GESTIÓN INTEGRAL DE LAS AGUAS PLUVIALES.	117
- CAPÍTULO 10 -	
APLICACIONES AL ÁREA METROPOLITANA DE A CORUÑA.	118
1- INTRODUCCIÓN.	118
2- PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE SANEAMIENTO DE LA RÍA DE O BURGO.	120
3- SITUACIÓN ACTUAL DE LA RÍA DEL BURGO.	123
4- PRINCIPALES MEDIDAS ADOPTADAS HASTA LA FECHA.	124
5- ANÁLISIS DE LOS TRABAJOS REALIZADOS Y PROPUESTAS DE MEJORA.....	127
- CAPÍTULO 11 -	
APLICACIONES AL ÁREA METROPOLITANA DE ZARAGOZA.	131
1- INTRODUCCIÓN.	131
2- CARACTERISTICAS DEL SANEAMIENTO	132
3- ESTADO MASAS DE AGUA	134
4- LA GESTIÓN DE LAS AGUAS PLUVIALES EN ZARAGOZA.	136
5- PROPUESTA DE ACTUACIONES DE LAS ADMINISTRACIONES IMPLICADAS	139
6- CONCLUSIONES	141
- CAPÍTULO 12 -	
CONCLUSIONES	144
BIBLIOGRAFÍA	149
- ANEJO 1 -	

PRINCIPALES MODELOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS: ESTADO ACTUAL Y NUEVAS TECNOLOGÍAS.	153
1- INTRODUCCIÓN.	153
2- MODELIZACIÓN A LARGO PLAZO.	154
3- MODELIZACIÓN A CORTO PLAZO O EN TIEMPO REAL.	156
4- MODELIZACIÓN DESDE LA PERSPECTIVA DEL RIESGO.	158
- ANEJO 2 -	
ANÁLISIS DE LAS DIRECTIVAS EUROPEAS RELACIONADAS CON LA GESTIÓN DE LAS AGUAS PLUVIALES	161
- ANEJO 3 -	
DIRECTRIZ BÁSICA DE PLANIFICACIÓN DE PROTECCIÓN CIVIL ANTE EL RIESGO DE INUNDACIONES.	174
1 INTRODUCCIÓN.	174
2- ESTRUCTURA DE LA PLANIFICACIÓN DE PROTECCIÓN CIVIL ANTE EL RIESGO DE INUNDACIONES.....	175
3- LOS PLANES ESTATALES ANTE EL RIESGO DE INUNDACIONES.....	175
4- LOS PLANES DE CCAA ANTE EL RIESGO DE INUNDACIONES.....	176
5- PLANES DE ACTUACIÓN DE ÁMBITO LOCAL.	179
6- PLANIFICACIÓN DE EMERGENCIA ANTE EL RIESGO DE ROTURA O AVERÍA GRAVE DE PRESAS.	179
7- FASES Y SITUACIONES COMUNES A TODOS LOS PLANES DE PROTECCIÓN CIVIL ANTE EL RIESGO DE INUNDACIONES.	183
- ANEJO 4 -	
LA EXPERIENCIA DE BARCELONA COMO MODELO DE SISTEMA DE GESTION Y EXPLOTACION DEL DRENAJE EN ESPAÑA	185
- ANEJO 5 -	
EMPLEO DE SUDS EN ESPAÑA Y RESTO DEL MUNDO.....	187
3- CASOS PRACTICOS DE SUDS EN ESPAÑA	187
4- IMPLEMENTACION DE SUDS A NIVEL INTERNACIONAL	190

3- EFICACIA DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO SUDS	192
- ANEJO 6 -	
EL PAPEL DE LAS EDAR EN LA GESTIÓN DE LAS AGUAS PLUVIALES	196
1- TECNICAS AVANZADAS DE GESTION OPTIMIZADA DE EDARS	196
2- MODELIZACION, INSTRUMENTACION Y CONTROL ADECUADOS DE UNA EDAR PARA COLABORAR EN LA GESTIÓN DE LAS AGUAS PLUVIALES.	199
- ANEJO 7 –	201

INTRODUCCIÓN

El objetivo de este trabajo es realizar un análisis del *estado del arte* en relación con la gestión de las aguas pluviales en entornos urbanos y estudiar cómo se podrían aplicar las principales ideas a dos zonas concretas: la ciudad de Zaragoza y el área metropolitana de A Coruña.

Cuando hablamos de gestión de las pluviales nos estamos refiriendo a la mitigación de los principales problemas que pueden ocasionar estas aguas, pero también a su puesta en valor para los habitantes de las ciudades y la recuperación de los ecosistemas que llevan asociados.

Los problemas son debidos tanto a un exceso de agua, que puede provocar inundaciones, como a un deterioro de su calidad, que se hace patente a través de la contaminación y la degradación de los medios receptores de estas aguas. Estos dos tipos de problemas, además, se pueden agravar en los entornos urbanos. Así, se modifica la hidrología natural, convirtiéndose las calles, los aparcamientos, los tejados, etc. en nuevas cuencas prácticamente impermeables, pero que contienen potentes contaminantes que son arrastrados por el agua de lluvia, a través de extensas redes de tuberías que intentan esconder los problemas, hacia los cauces naturales. Además, estas redes de tuberías, en muchos casos, están diseñadas para transportar conjuntamente las aguas fecales con las aguas de lluvia (redes unitarias) y acaban, antes de su vertido al medio receptor, en una estación depuradora de aguas residuales (EDAR) que no está diseñada para recibir esas aguas pluviales. Por otro lado, incluso en los casos en los que exista una red específica para transportar las aguas pluviales, no suelen disponer de ningún elemento que frene su poder contaminante y su capacidad no suele ser suficiente para desaguar cualquier episodio de lluvia, por lo que también son frecuentes pequeñas inundaciones, con desbordamientos a través de los pozos de registro.

En todos estos casos, si al insuficiente dimensionamiento de la red de drenaje y a las elevadas concentraciones de los contaminantes transportados se le añade una mala gestión de las avenidas en los cauces receptores de esas aguas o de la carrera de marea en ámbitos costeros, los perjuicios ocasionados por estas *crecidas* pueden pasar de pequeñas molestias para los ciudadanos a cuantiosos daños materiales, ambientales y de vidas humanas. Entonces la mala gestión emerge a la superficie, el agua intenta recuperar los espacios que le hemos robado y todos pedimos soluciones urgentes; el *imponderable* se solventa con algún aliviadero de emergencia y, una vez pasado el aguacero, se barren las calles arrastrando el problema hacia algún sumidero cercano. Si los daños materiales o de vidas humanas son importantes, hay una declaración de *zona catastrófica*, alguna foto oficial y, con suerte, se paga algún tipo de indemnización, y *aquí paz y después gloria*; si estos daños materiales no son cuantiosos, el desplazamiento oficial ya no es necesario: sólo hay un deterioro medioambiental, así que *aquí paz y después gloria*.

Por todo ello, una adecuada gestión de las aguas pluviales en las ciudades es quizás uno de los mayores retos al que tiene que hacer frente nuestra sociedad en materia de aguas. Pero ¿cuál es el origen del problema? En nuestra opinión, en este contexto, si hay que establecer un principio, este sería un urbanismo descontrolado que parece tener como fin la máxima desnaturalización del territorio. Todo lo demás son consecuencias: esta desnaturalización se hace a través de pavimentos impermeables, cubiertas impermeables, plazas impermeables, calles impermeables y todo el agua que llueva sobre estas superficies hay que evacuarla rápidamente; los ríos hay que canalizarlos y, si puede ser, enterrarlos; cualquier masa de agua urbana estancada, mejor con el vaso impermeabilizado y los bordes bien delimitados; y esta desnaturalización también provoca una desculturización de la sociedad: en un ámbito urbano las aguas pluviales han desaparecido, no hay un conocimiento de su funcionamiento, hábitos para su gestión, no forma parte de nuestras vidas.

Esta pesimista panorámica intenta no sólo poner de manifiesto las graves consecuencias de la mala gestión de las aguas pluviales, y por extensión de las ciudades, sino también la complejidad que tiene el problema en sí mismo. No es sólo una cuestión de gestionar un impredecible volumen de agua o de deterioro medioambiental, sino también un problema social con graves consecuencias económicas.

En este sentido, en el trabajo hemos intentado analizar el estado de la cuestión desde distintas perspectivas. Así, hemos estudiado la hidrología de las cuencas urbanas, la química asociada a las aguas pluviales, las consecuencias medioambientales de su mala gestión y las implicaciones que en este campo tienen el urbanismo y la ordenación del territorio, para ayudarnos a entender mejor el problema y, por ello, le dedicamos a cada uno de estos aspectos un capítulo. Pero las soluciones también hay que buscarlas en distintos ámbitos: así, se han analizado las principales herramientas legislativas existentes y el estado de la normativa en general; se han estudiado las propuestas planteadas desde un punto de vista técnico, haciendo especial hincapié en las denominadas *técnicas de drenaje urbano sostenible*; se han analizado los principales aspectos sociales relacionados con la gestión de las aguas pluviales y se han recompilado las principales experiencias en este sentido, donde la participación pública es la herramienta fundamental; por último, se ha dedicado un capítulo a ese manto que lo envuelve todo, unas veces arrojando y otras ahogando, que es la economía.

Por acotar el ámbito de estudio, en principio, nos hemos centrado en las principales soluciones que se han implementado o sobre las que se están trabajando a nivel nacional y a nivel europeo. Sin embargo, en algunos aspectos también hemos trascendido ese ámbito espacial y hemos comentado soluciones adoptadas en otros países con tradición en la gestión de las aguas pluviales, como pueden ser EE.UU, Australia, Nueva Zelanda, Argentina, Uruguay o Brasil.

- CAPÍTULO 1 -

LA GESTIÓN DE LAS AGUAS PLUVIALES DESDE UNA PERSPECTIVA HIDROLÓGICA

1- INTRODUCCION.

Es un hecho que las ciudades están creciendo a un ritmo espectacular, tanto en población como en superficie, caracterizándose estas áreas por:

- La modificación del medio ambiente natural (pavimentos, edificios y otras estructuras cubren y remplazan los suelos y vegetación preexistentes).
- La desaparición de los cursos de agua, desvío de cauces o acciones en los propios cauces como encauzamientos, dragados (río Ebro en Zaragoza)...
- Las urbanizaciones modifican localmente el clima (temperatura, albedo, precipitación, evapotranspiración,...)

Todas estas modificaciones se transmiten en su entorno provocando en el caso de los ríos, variaciones en el régimen de los ríos, en la calidad del agua, en los sedimentos, en la flora y fauna... También se modifica la morfología del terreno y aunque menos visible, también se modifica el subsuelo.

Por todo ello, el conocimiento de la hidrología de la zona es el punto de partida para poder llevar a cabo una gestión responsable de las aguas pluviales en entornos urbanos. En este sentido, es importante analizar, al menos, dos aspectos clave:

- 1- Las principales componentes del ciclo hidrológico aguas arriba del entorno urbano que se pretende gestionar: precipitaciones, evapotranspiración, escorrentías, etc. y las infraestructuras existentes que pueden alterar su comportamiento natural. Estos datos permiten determinar qué volúmenes de agua externos al ámbito concreto de estudio hay que gestionar en ese entorno urbano, pero también pueden condicionar la capacidad de desaguar las aguas recogidas en el entorno urbano y las condiciones en las que se pueden realizar las descargas al medio receptor.
- 2- El comportamiento hidrológico del propio entorno urbano. Aquí cada cubierta, cada calle, cada plaza se convierte en una subcuenca hidrográfica, con una determinada permeabilidad y cuya escorrentía hay que gestionar. La escala aumenta por lo que los métodos de análisis tienen que ser más precisos. Además, el drenaje de estas aguas se suele realizar a través de una red de tuberías cuyo comportamiento hidráulico e hidrológico también hay que conocer.

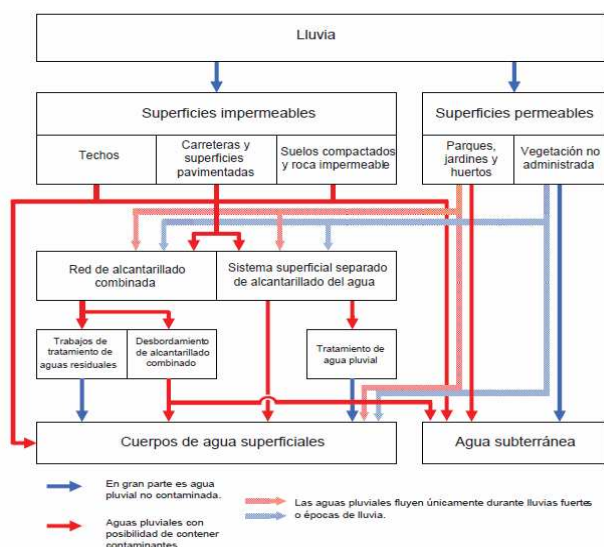
Teniendo en cuenta lo anterior, en este capítulo se analizan las principales características de los entornos urbanos desde un punto de vista hidrológico y los métodos habitualmente empleados para estudiar tanto las zonas urbanas como las rurales asociadas.

De la revisión realizada desde esta perspectiva hidrológica, se puede concluir que existen bastantes herramientas de cálculo que permiten aproximar con bastante exactitud el comportamiento del drenaje de una ciudad y sus alrededores. Sin embargo, este conocimiento exhaustivo exige elevadas inversiones en campañas de campo para obtener información real de los parámetros más relevantes y los gestores no siempre quieren o pueden afrontar estos gastos. Por lo tanto, el conocimiento de la realidad hidrológica, que es el punto de partida de cualquier análisis serio de la gestión de las aguas pluviales, suele ser deficitario, con las consecuencias que esto tiene en las demás fases de estudio.

2- CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS DE DRENAJE EN ÁMBITOS URBANOS.

Un sistema de drenaje urbano comprende:

- El medio físico e hidrológico, constituido por varias cuencas vertientes en las que se incluyen los ríos, torrentes... e infraestructuras urbanas (red de colectores, calles) que drenan las aguas de escorrentía pluvial que afecta al territorio urbano.
- Procesos hidrológicos e hidráulicos asociados a la lluvia: generación de la lluvia, transformación lluvia escorrentía y transporte del caudal a través de la red de drenaje al medio receptor o filtración al terreno.



Las características de la lluvia son factores aleatorios, ya que su intensidad, distribución espacial y evolución temporal son factores que cambian de unas regiones a otras, incluso dentro de ella misma. El carácter aleatorio de la lluvia impone un análisis probabilístico, de tal manera que la fiabilidad de las estimaciones que puedan hacerse dependerá de las series de que se disponga.

Por tanto, es necesario disponer en zonas urbanas de redes de medidas pluviométricas (lluvias) y foronómicas (caudales o calados en colectores) suficientemente amplias y distribuidas por toda su superficie. Además es necesario caracterizar pormenorizadamente cada cuenca urbana (usos del suelo) y conocer en profundidad la red de drenaje y saneamiento (secciones, pendientes, pozos, aliviaderos, etc.). Por ello, si no se dispone de dispositivos de medida y se desconoce físicamente la red, se obtendrán mediante los métodos de análisis de los procesos hidrológicos e hidráulicos aproximaciones groseras del funcionamiento de sistema de drenaje y riesgo de inundación.

Además, para poder prever el comportamiento del sistema de drenaje frente a la lluvia es necesario conocer su comportamiento y acometer las medidas oportunas para frenar sus consecuencias. Toda esta información permitirá un análisis hidrológico e hidráulico adecuado para avanzar en el conocimiento del sistema de drenaje, pudiendo ser suficiente para la identificación de problemas y evaluación de soluciones.

Sin embargo, a la vista de lo complejo que son las redes y los fenómenos que intervienen, no siempre será suficiente con todos estos datos, y habrá que recurrir a modelos de simulación (numéricos o físicos). Para poder realizar estos modelos es necesario el análisis detallado de tres fenómenos:

- Caracterización de la lluvia al objeto de fijar la lluvia de proyecto.
- Transformación de la lluvia de entrada en escorrentía superficial a fin de obtener los hidrogramas de entrada en la red de drenaje (colectores).
- Propagación de los hidrogramas por la red.

La lluvia de proyecto se obtiene a través de los registros de intensidades de lluvia. Cuando no se disponen de registros de intensidades debe de recurrirse a métodos numéricos de obtención de lluvias aproximadas. Una vez fijada la lluvia deberá obtenerse el hidrograma correspondiente a la escorrentía superficial. Para ello se suelen utilizar varios modelos (Monte y Marco).

Es por tanto imprescindible disponer de información fiable referida a las intensidades de lluvia y estudios de campo que permitan disponer la capacidad de retención e infiltración de nuestras cuencas urbanas. Las inversiones para llevar a cabo esta mejora de información son mínimas en comparación con el ahorro que podría obtenerse al mejorar el conocimiento de los fenómenos y por tanto disminuir el grado de incertidumbre en los parámetros de diseño de las infraestructuras de drenaje urbano. Luego las limitaciones están en la información de campo disponible (lluvias y caudales

fundamentalmente). Mejorar esta información pasa por ampliar la red de toma de datos y modernizar la transmisión y almacenamiento de la información.

Por tanto se puede resumir que el estudio del drenaje urbano viene condicionado en gran medida por la disponibilidad (en cantidad y calidad) de los datos de lluvia y grado de conocimiento de la cuenca. Es preciso mejorar dicha información si se desea poder aprovechar las grandes posibilidades que actualmente ofrece la modelización numérica y optimizar de este modo las elevadas inversiones a realizar.

3- MODELOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS: ESTADO ACTUAL Y NUEVAS TECNOLOGÍAS.

En la gestión de las aguas pluviales en entornos urbanos es importante conocer los modelos matemáticos disponibles, tanto de transformación lluvia-escorrentía (modelos hidrológicos) como de transporte y laminación de flujo (modelos hidráulicos), a los que cada vez se recurre con más frecuencia. No obstante, como ya se ha indicado, en general exigen una correcta calibración o ajuste de parámetros en base a medidas hidrológicas. Por lo tanto, para poder implementarlos, hay que instrumentalizar, dentro del sistema de drenaje, una red de medición de caudales y niveles de agua, en los puntos más significativos del sistema (entradas, salidas, derivaciones, estanques, depósitos de retención, aliviaderos, etc.).

Al implementar estos modelos no hay que centrarse únicamente en las redes de drenaje, sino que hay que tener en cuenta que esas redes y el entorno urbano al que dan servicio forman parte de un ámbito territorial mayor, la cuenca hidrográfica a la que pertenecen. En este sentido, la interacción entre las redes o cualquier otro sistema de drenaje, con una capacidad para transportar caudal limitada, y los medios receptores, con una capacidad limitada para recibir caudales, condiciona la aparición de inundaciones urbanas. Por ello, hay que conocer las herramientas disponibles para modelizar estos dos medios.

En todo caso, hay que tener en cuenta que la variación del nivel o del caudal de un río o de una tubería depende de las características climatológicas y físicas de la cuenca hidrográfica. Las distribuciones temporal y espacial de la precipitación son las principales condiciones climatológicas y éstas sólo pueden ser previstas con una antelación de pocos días o unas horas, lo que no permite la previsión de los niveles de crecida con gran anticipación. El tiempo máximo posible de previsión de la avenida, a partir de la ocurrencia de la precipitación, es limitado por el tiempo medio de desplazamiento del agua en la cuenca hasta la sección de interés.

Teniendo esto presente, la previsión de los niveles puede ser realizada a corto o a largo plazo. Las primeras responden a la necesidad de tomar decisiones con carácter inmediato ante una determinada situación de crecida de un río o de desbordamiento de una alcantarilla y las segundas a la necesidad

de conocer el comportamiento de una cuenca o de todo un sistema de drenaje ante determinadas precipitaciones, para diseñar infraestructuras o para tomar decisiones relativas a la ordenación del territorio. Pero en estos estudios también hay que tener en consideración el riesgo que entrañan estas situaciones, analizando tanto la probabilidad de que se produzcan como la vulnerabilidad del lugar en donde se producen.

Teniendo esto presente, en el Anejo 1 se incluye un esquema con los principales tipos de modelos hidrológico – hidráulicos existentes.

4- GESTIÓN DE SOLUCIONES EN EL ÁMBITO DE LA HIDROLOGÍA.

La lluvia es un fenómeno natural que hay que admitir con sus características excepcionales y controlar sus efectos sobre la cuenca y medio urbano.

Para el dimensionamiento de las infraestructuras de drenaje se puede utilizar el criterio de riesgo de fallo ante sucesos de lluvia capaces de generar caudales superiores a la capacidad de las obras.

La adopción técnica de una mayor o menor lluvia se manifiesta en concepto de periodo de retorno, definiéndose como periodo de retorno de un suceso como el tiempo que, como promedio, separa a las diferentes repeticiones de un mismo aguacero.

El ideal de una protección total es irrealizable, por lo que habrá que adoptar consideraciones de carácter ambiental, social, económico, técnico. Se tendrán que considerar criterios económicos de coste-beneficio asociados al coste de las obras y a los daños producidos por fallos en la red de drenaje, evaluando para distintos niveles de protección las inversiones requeridas y las consecuencias de los fallos ocasionales, permitiendo a los responsables hacer la elección más convenientes y fijar la prioridades de actuación.

Se podría plantear para una red de drenaje cual es el coste asociado a la construcción de la misma, evaluando para una serie de lluvias de proyecto de diferentes periodos de retorno, las infraestructuras necesarias para su correcto funcionamiento. Posteriormente se calcula el coste de cada una de las infraestructuras, utilizando siempre los mismos precios unitarios en el cálculo del presupuesto, obteniendo una curva de costes creciente con el periodo de retorno.

Esta información se debe comparar con los costes de los daños provocados por la falta de capacidad de la red de drenaje, evaluando los daños ocasionados por las posibles lluvias de mayor magnitud (mayor periodo de retorno) con las de diseño de la red. Los daños aumentan cuanto menor es el periodo de diseño de la red, disminuyendo cuando sube el periodo de retorno.

El coste total de la infraestructura durante su vida útil es la suma de los costes de construcción y mantenimiento. La suma de estas dos curvas da una curva cuyo mínimo señala el periodo de retorno más económico para el diseño de la red de drenaje.

Sin embargo hay que incluir los costes ambientales y sociales, los cuales son muchas veces difíciles de justificar, ya que hay que tener en cuenta los efectos que se generan en la sociedad (inseguridad ciudadana, incomodidad en los cortes de circulación, generación de charcos,...) y en el medio ambiente (ruptura del ciclo natural del agua, aumento de la contaminación física, química, térmica, disminución de la biodiversidad y erosión en cauces).

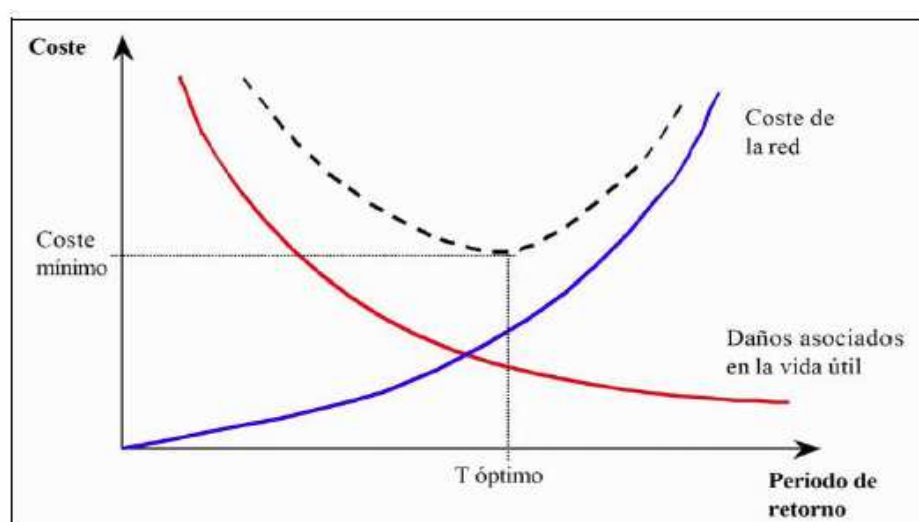


Figura 1. Análisis coste-beneficio para el diseño de una red de drenaje, en función del periodo de retorno asociado a una lluvia o caudal. Fuente: (Gómez, 2006).

Normalmente se utilizan los siguientes periodos de retorno:

PERIODO DE RETORNO	
- Emisarios y colectores principales	25 años
- Zonas de alto valor del suelo (zonas históricas, zonas comerciales en centros urbanos, etc.)	De 10 a 20 años
- Zonas de riqueza media del suelo (zona residencia habitual)	De 5 a 10 años
- Zonas de riqueza baja del suelo (baja densidad demográfica, residencias aisladas, parques)	2 años

Las soluciones básicas que se pueden utilizar se pueden clasificar en dos grandes líneas, en función que haya que aumentar la capacidad de la red o laminar los caudales de entrada:

AUMENTAR CAPACIDAD DE LA RED:

- Corrección de déficits localizados de la red: obras de mejora de zonas conflictivas de la red como estrangulamientos, transiciones de sección, sifones,... y de mejora del estado de conservación y

limpieza (retirada de arrastres y obstáculos). Estas actuaciones suelen tener un efecto rápido, eficaz y barato.

- Refuerzo y desdoblamiento de colectores: Difícil de aplicar por las implicaciones sociales y económicas, ya que normalmente afecta a calles estrechas de cascos antiguos de ciudades.
- Solución en túnel: Con el fin de minimizar el impacto de las obras de drenaje en superficie (molestias al tráfico, ruidos, reposición de servicios,...) y si las condiciones geotécnicas y topográficas lo permiten, se construyen túneles colector con desniveles de decenas de metros. Este tipo de soluciones se ha empleado en Berna, Quito, Chicago, San Diego, Montreal y Toronto.

LAMINAR CAUDALES:

- Intercepción de aguas de cabecera: Intercepción de aguas pluviales en las cabeceras de las cuencas y su transporte a zonas más favorables para el desagüe, realizándose en cauces abiertos o en solución enterrada.
- Infraestructuras de retención y laminación: Consisten en laminar el hidrograma de caudal mediante acumulación de volúmenes en estanques y depósitos de retención para su posterior descarga a la red.

5- EL CAMBIO CLIMÁTICO Y SU RELACIÓN CON LA HIDROLOGÍA DE LAS AGUAS PLUVIALES.

Aunque es difícil asegurarlo con rotundidad, por no haber encontrado estudios específicos, es probable que el cambio climático tenga un impacto significativo en la gestión de las aguas pluviales urbanas, a través de la modificación de la hidrología de estos ámbitos (Schmitt, y otros, 2006).

Así, habrá ciudades donde, debido al aumento de la temperatura, la capacidad de la atmósfera para retener el agua aumentará, causando un incremento en las intensidades de lluvia durante las tormentas. Además de cambios pluviométricos, en un contexto de cambio climático se puede alterar la temperatura del aire, con las consecuencias que ello tiene sobre las tasas de evaporación y de humedad, por lo que la evapotranspiración y la filtración podrían modificarse. Todo ello puede repercutir sobre las transformaciones lluvia – escorrentía y provocar que los parámetros de diseño empleados en muchos modelos o las calibraciones llevadas a cabo para ajustarlos no sean válidos. Basándose en esto, algunos autores (Grum, y otros, 2005) concluyen que hay una necesidad de adaptar las normas de diseño de los sistemas de alcantarillado a estas tendencias

Las principales dificultades en este ámbito para aplicar los resultados de los estudios de cambio climático derivan de las diferentes escalas temporales empleadas (de días en los estudios de cambio climático y de minutos en los estudios hidrológicos).

- CAPÍTULO 2 -

LA GESTIÓN DE LAS AGUAS PLUVIALES DESDE UNA PERSPECTIVA QUÍMICA

1- INTRODUCCIÓN.

En este capítulo se presentan y analizan las fuentes y características de la contaminación de las aguas de escorrentía y de las descargas de sistemas unitarios. Esta contaminación se genera fundamentalmente en la superficie de las cuencas, en los aportes de las aguas residuales en tiempo seco y en la movilización de la carga de sedimentos depositados. Por otro lado se describen las características de los vertidos en tiempo de lluvia y se comparan las características de las redes unitarias y separativas de aguas pluviales.

2- FUENTES DE CONTAMINACION DE LA ESCORRENTIA URBANA.

Las fuentes de contaminación se pueden clasificar en dos categorías:

- Fuentes puntuales: la contaminación es aportada al medio receptor a través de un colector o canal, en un lugar concreto; son vertidos de fácil localización y determinación de origen.
- Fuentes difusas: esta contaminación se origina y se encuentra dispersa en distintas zonas y es de difícil control.

La contaminación de la escorrentía urbana llega a los sistemas receptores a partir de dos tipos de vertidos: los directos desde la red de pluviales de un sistema de saneamiento separativo y los vertidos procedentes de los reboses de los sistemas de saneamiento unitario. Cuando se producen estos reboses, además de la contaminación propia de la escorrentía superficial urbana, se vierte al medio receptor contaminación de las aguas residuales urbanas de tiempo seco (parte de la que ya estaba siendo transportada por los colectores y parte de la que se había depositado en los mismos como consecuencia del régimen hidráulico existente en tiempo seco; esta última será resuspendida y arrastrada ante las nuevas condiciones hidráulicas).

La contaminación difusa se caracteriza por (Novotny, 1995):

- Las descargas acceden al medio receptor en forma de vertidos, en intervalos intermitentes, normalmente, asociados a sucesos meteorológicos.
- La contaminación se genera en un área extensa de suelo y se traslada por encima de éste antes de llegar a infiltrarse a acuíferos o llegar al medio receptor.

- Son difíciles de muestrear en origen
- Deben de aplicarse técnicas de tratamiento distintas a las fuentes puntuales
- Son vertidos con alta variabilidad en concentraciones tanto en el tiempo, como de un suceso a otro.
- Los contaminantes más importantes que deben gestionarse son los sólidos en suspensión, nutrientes y tóxicos (metales pesados)
- Las materias en suspensión transportadas por las aguas pluviales son de naturaleza mineral (fracción orgánica del orden al 30 %)

Analizando el problema de la contaminación asociada a la escorrentía superficial, EE.UU., a través de su Agencia de Protección Ambiental ya demostró en 1991(USEPA, 1991), en un concluyente estudio, que la escorrentía superficial es la principal causa del deterioro de la calidad del agua en las zonas urbana. Por otro lado, en Europa, la Directiva 91/271 sobre tratamiento de aguas residuales urbanas, en su anexo II se hace referencia a la restricción de la contaminación del medio receptor por los desbordamientos de las aguas de tormenta.

2.1- Contaminación atmosférica

El uso de combustibles fósiles y la industrialización producen una serie de residuos que se incorporan a la atmósfera y se propagan por ella aprovechando la circulación del aire. Junto con los productos de combustión gaseosos, hay una amplia serie de partículas como restos de hollín e hidrocarburos, gases reactivos SO_2 , NO_x , H_2S , NH_3 , SO_4 , Plomo, Cloro, Plaguicidas, etc. Los óxidos de Azufre y Nitrógeno causan la lluvia ácida que aumenta la solubilidad de los metales presentes en las estructuras expuestas a la intemperie. Todos estos contaminantes son atrapados por la lluvia en su caída y transportados por la escorrentía por las superficies impermeables.

Algunos autores afirman que la principal causa de deterioro de la calidad del agua de lluvia se debe a la contaminación atmosférica de Nitrógeno y sus formas, por lo que el aporte de nutrientes a la escorrentía no es nada despreciable. Esta calidad varía en función de la zona en la que se recoge.

Parámetro	Zona rural	Zona urbana	Zona industrial
pH	6,9	6,8	6,7
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	25	30	20
Turbidez (NTU)	0,2	0,2	0,8
SS (mg/l)	2	3	6
Coliformes fecales	0	0	0
Nitratos (mg/l)	0,23	0,21	0,05
Cinc (mg/l)	0,0	0,0	0,5
Plomo (mg/l)	0,0	0,0	0,0

Tabla 2.1 Calidad de agua de lluvia, citada en Puertas Agudo, y otros (2008)

2.2- Contaminación presente en la superficie de la cuenca

Residuos animales: todos los animales que viven en los centros urbanos generan residuos que se depositan en las calles; cuando llueve, éstos son arrastrados por la escorrentía y son incorporados al sistema de drenaje. Estos residuos aportan bacterias, virus y gran cantidad de nutrientes, que si incluyen patógenos, pueden causar enfermedades; así, las aguas de escorrentía urbana contienen entre 10^4 y 10^5 UFC/100 ml (Suárez, y otros, 2007).

Basura y residuos: Residuos y restos de papeles, cartones, madera, goma, vidrios, etc. son habituales en las calles de las ciudades. Estos se disgregan por procesos físicos/químicos y son transportados fácilmente por la escorrentía. La proporción de esta basura puede ser: basura vegetal de jardines (41.6%), plásticos (38,1%) y papeles y cartones (20,3%) (Puertas Agudo, y otros, 2008).

Tráfico rodado: El plomo y cinc son los metales pesados mayoritarios en la escorrentía; el cinc proviene fundamentalmente de los neumáticos y, en menor cantidad, del desgaste de los frenos y las emisiones de los motores; el plomo se asocia a las emisiones de los motores y está vinculado a las partículas finas. Otro foco de contaminación es el goteo y fuga de aceites lubricantes; del uso y deterioro de los vehículos pueden generarse residuos de plástico y vidrio; el Bario y el Cesio están asociados a partículas de desgaste de frenos y el antimonio puede deberse a los neumáticos.

Erosión de los pavimentos: El mayor o menor aporte de carga contaminante depende de factores como la edad o el estado de conservación, las condiciones climáticas locales (el frío acelera la degradación: se emplean cadenas, se usa arena y productos químicos antideslizamiento), el derrame de disolventes (gasolinas por ejemplo), etc.

Desgaste de fachadas y corrosión de cubiertas y tejados: La acción erosiva de los agentes atmosféricos provoca el deterioro de fachadas y tejados y las partículas que se desprenden pueden ser arrastradas por la escorrentía. Así, se detectan valores de Cobre, Plomo y Cinc, siendo el Cinc el presente en la escorrentía de tejados industriales (1,15 mg/l) (Puertas Agudo, y otros, 2008).

Actividades agrícolas y de jardinería: En el cinturón que rodea las ciudades es probable encontrar terrenos dedicados a prácticas agrícolas y pecuarias, y los jardines y parques de la ciudad son actividades agrícolas. En estos terrenos se utilizan fertilizantes, pesticidas y herbicidas que pueden ser lavados por la escorrentía en episodios de lluvia.

Uso de sal para el deshielo: Los caudales que se deducen de este fenómeno son bajos, pero permanecen en el tiempo durante varios días y eliminan una fracción significativa de los contaminantes depositados en las superficies (Puertas Agudo, y otros, 2008). El uso de la sal para evitar la formación de placas de hielo, genera problemas de corrosión y de contaminación por cloruros, pudiendo alcanzar concentraciones superiores a 20.000 mg/l. En otros países se han probado alternativas: acetato de magnesio-calcio, más biodegradable y menos corrosivo, pero con

un coste 20 veces superior a la sal; arena mezclada con cloruro potásico o magnésico; urea en aeropuertos, desechada por la contaminación de N; productos orgánicos, a base de melaza en Austria o de remolacha en EE.UU.; salmuera mezclada con arena; en Alemania el uso de la sal está prohibido, se obliga a quitar la nieve por medios mecánicos.

Superficies no protegidas: En muchas zonas urbanas existen terrenos en donde no existe edificación alguna o simplemente se encuentran abandonados o en espera de una nueva edificación; este suelo estará sometido a procesos de erosión.

Terrenos con obras: La cantidad de sedimentos en los vertidos de aguas de tormenta que proceden de zonas en construcción pueden variar considerablemente. Estudios recientes han demostrado que en dichas zonas las cargas de sedimentos pueden ser del orden de 85 a 110 Tn/Ha/año. Los sedimentos procedentes de terrenos en obras de edificación son generalmente de 10 a 20 veces de aquellos que se generan en terrenos agrícolas, y de 1.000 a 2.000 veces aquellos que ocurren en zonas forestales. El polvo generado en estos terrenos suele estar acompañado de aceites y lubricantes de la maquinaria; también pueden aparecer residuos de la corrosión de materiales y lixiviados de la basura.

Contaminante	Contaminación atmosférica	Erosión del suelo	Deterioro de vehículos y rodadura	Emisiones gaseosas de vehículos	Productos industriales	Combustibles fósiles	Químicos usados en jardines	Aves y mascotas
Sólidos suspensión	S	P	P			S		
Materia orgánica		P	P	S				P
Nutrientes: N	S	S	P	P		P	P	P
Nutrientes: P		P		S			P	P
Hidrocarburos			P	P	P			
Bacterias y virus								P
Hierro		P						
Manganeso		P						
Cinc		S	P		S		S	
Plomo	S			P	S			
Cobre			P		P			
Cromo			P		P			
Níquel			S		P			
Cadmio			S		P	P		
Sulfuro	S			S		P		P
Acido nítrico	S			P		P		
Acido sulfúrico	S							
Pesticidas, herbicidas							P	

Tabla 2.2 Contaminación difusa en escorrentía urbana (Whipple et al. 1993, citados por Barro y Suárez, 2004)

P: Fuente primaria; S: Fuente secundaria

2.2.1 Características de la contaminación presente en la superficie de la cuenca

El trabajo de Sartor y Boyd de 1972 se considera el punto de partida de las investigaciones relacionadas con la contaminación de las aguas de escorrentía urbana; en este estudio se tomaron muestras de la acumulación de sólidos en las calles en 8 ciudades estadounidenses, caracterizando sus propiedades físicas y químicas, con los siguientes resultados:

- Los sedimentos están muy contaminados con sustancias procedentes de la escorrentía urbana.
- Los sedimentos se pueden considerar como la fuente principal de contaminación de las aguas de escorrentía en entornos urbanos.
- Su componente principal es inorgánica, con características similares a las arenas y limos.
- La mayor parte de contaminantes están asociados con las fracciones más finas; aunque la proporción de partículas inferiores a 43 micras supone un porcentaje muy pequeño de toda la masa movilizada, contiene alrededor del 50 % de los metales.
- Los contaminantes no se distribuyen uniformemente a lo largo de las calles, sino que tienden a concentrarse en zonas determinadas; debido a las turbulencias generadas por el viento y las inducidas por el tráfico, conducen las partículas a ciertas zonas con baja circulación, la influencia de cunetas o medianas, o la de los coches estacionados provoca concentraciones de polvo y suciedad en estas zonas.

Otro estudio importante fue el desarrollado por Pitt y Amy (1973), *Analysis of Street Surface Contaminants*, realizado en cuatro ciudades estadounidenses, analizaba la toxicidad de los sedimentos acumulados en las calles, identificando al Plomo, Cinc, Cobre, Níquel, Cromo Estroncio y Titanio, como los elementos metálicos más importantes. Concluyeron que la solubilidad de los metales pesados es muy baja, menor de un 10% de la carga total, estando además presentes en un 50% en la fracción de tamaño menor de 495 micras; otros estudios más recientes confirman esta tendencia (ver por ejemplo Willianson, 1985, o Tanizaki et al. 1992; citados por Cagiao, 2002).

Mence y Harman, citados por Ackers et al. (1996) en un estudio en el reino Unido, caracterizaron la acumulación de sólidos depositados en los tejados, en las calles y la fracción debida a la acción del viento, concluyendo que la fracción depositada en calles y zonas pavimentadas es la más importante.

Se puede modelizar el comportamiento de los contaminantes presentes en las cuencas a partir de uno o varios contaminantes que se emplean como vectores del resto de indicadores de calidad. Normalmente se asocia a la movilización de los sedimentos la del resto de contaminantes mediante unos factores de proporcionalidad con las fracciones de sólidos disueltos o en suspensión, en función de la naturaleza del contaminante. Los estudios de campo han demostrado que es una buena aproximación, especialmente para los contaminantes que tienen una afinidad iónica con las partículas

de suelo arcilloso. En la siguiente tabla se presentan las proporciones de varios contaminantes asociadas a la cantidad de sólidos depositados en las superficies de las cuencas urbanas.

Contaminante	Referencia	USO			
		Residencial	Industria	Comercial	Autopistas
DBO ₅ (mg/g)	Sartor et al. (1974)	9,19	7,5	8,33	2,3
DQO (mg/g)	Sartor et al. (1974)	20,82	35,71	19,44	54
Sól.volátiles (mg/g)	Sartor et al. (1974)	71,67	53,57	77	51
NTK (mg/g)	Sartor et al. (1974)	1,66	1,39	1,11	0,156
PO ₄ -P (mg/g)	Sartor et al. (1974)	0,916	1,214	0,833	0,61
NO ₃ -N (mg/g)	Amy et al. (1975)	0,05	0,064	0,5	0,079
Pb (mg/g)	Amy et al. (1975)	1,468	1,339	3,924	12
Cr (mg/g)	Amy et al. (1975)	0,186	0,208	0,241	0,08
Cu (mg/g)	Amy et al. (1975)	0,095	0,055	0,126	0,12
Ni (mg/g)	Amy et al. (1975)	0,022	0,059	0,059	0,19
Zn (mg/g)	Amy et al. (1975)	0,397	0,283	0,506	1,5
CT (UFC/100ml)	Sartor et al. (1974)	160	82	110	-
CF (UFC/100ml)	Sartor et al. (1974)	16	4	5,9	925

Tabla 2.3 Contaminación asociada con polvo y suciedad en varias cuencas (Novotny y Chesters, 1981)

En la siguiente tabla se recogen los valores de las cargas de contaminación anual movilizadas por la escorrentía urbana; se puede observar la relación existente entre las cargas anuales con el uso de la cuenca, a medida que el grado de impermeabilización y la intensidad del tráfico aumentan, la contaminación de la escorrentía es mayor.

Contaminante	USO DEL SUELO (kg/ha-año))								
	Comercial	Centro comercial	Aparcamientos	Residencial (densidad)			Autopistas	Industrial	Parques
				Alta	Media	Baja			
Sólidos totales	2.100	720	1.300	670	450	65	1.700	670	N/D
SST	1.000	440	400	420	250	10	800	500	3
Ptotal	1,5	0,5	0,7	1	0,3	0	0,9	1,3	0,03
NTK	6,7	3,1	5,1	4,2	2,5	0,3	7,9	3,4	N/D
NH ₃	1,9	0,5	2	0,8	0,5	0	1,5	0,2	1,5
NO ₃ +NO ₂	3,1	0,5	2,9	2	1,4	0,1	4,2	1,3	N/D
DBO ₅	62	N/D	47	27	13	1	N/D	N/D	N/D
DQO	420	N/D	270	170	50	7	N/D	200	N/D
Pb	2,7	1,1	0,08	0,7	0,1	0	4,5	0,2	2
Zn	2,1	0,6	0,08	0,7	0,1	0	2,1	0,4	0
Zr	0,15	0,04	N/D	N/D	0	0	0,06	0,6	N/D
Cd	0,03	0,01	0,01	0	0	0	0,02	0	N/D
As	0,02	0,02	N/D	N/D	0	0	0,02	0	N/D

3- CONTAMINACIÓN ASOCIADA A LOS CAUDALES DE TIEMPO SECO DE LAS AGUAS RESIDUALES

La contaminación de las aguas residuales urbanas procede fundamentalmente de las aguas residuales doméstica y de las aguas industriales. Los desechos humanos son los responsables de una gran parte de la contaminación de las aguas residuales urbanas. Los adultos producen del orden de 200-300 g de heces al día y de 1-3 Kg de orina al día. Las heces representan del orden de 25-30 g/(hab-día) de DBO₅ y la orina unos 10 g, formando el 60 % de los compuestos orgánicos que aparecen en las aguas residuales. El 94% del Nitrógeno orgánico del agua residual proviene de los excrementos; de este porcentaje el 50% proviene de la urea de la orina, que se convierte rápidamente en Nitrógeno amoniacal.

3.1 Cargas de contaminación en las aguas residuales

Hay otra contaminación que también circula por la red de alcantarillado, la que procede de industrias o granjas, u otro tipo distinto al doméstico y sanitario; para trabajar con unidades homogéneas de contaminación se establece el concepto de habitante equivalente (heq). La Directiva 91/271/CEE define que 1 heq aporta una carga orgánica biodegradable con una demanda bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO₅) de 60 g O₂/día. Con esta equivalencia, una industria que vierte diariamente 60 Kg de DBO₅, equivaldrá a una población de 100 heq. Los Kg/día que vierte determinada actividad se calculan multiplicando los caudales vertidos por las concentraciones.

En actividades pecuarias, una vaca equivale a 10 heq, un cerdo a 3 heq; también se expresan las cargas de contaminación que generan los animales como gramos de contaminante por cabeza por día (g DBO₅/cabeza/día).

Para calcular las dotaciones en aguas residuales urbanas sin incidencia industrial, se pueden utilizar los siguientes valores:

TIPO DE RED		DBO ₅	SS
RED SEPARATIVA	Zona residencial	50	50
	Núcleo de población	60	75
RED UNITARIA	Núcleo de población	75	90

Tabla 2.4 Aporte de DBO₅ Y SS (g/(hab-d)) por tipo de red y población (Tejero et al., 2001)

En términos de concentraciones es habitual clasificar las ARU en tres tipo: fuerte, media y débil

Constituyente (mg/l)	CONCENTRACION		
	FUERTE	MEDIA	DEBIL
Sólidos totales	1.200	720	350
Sólidos en suspensión	350	220	100
DBO ₅	400	220	110
COT	290	160	80
DQO	1.000	500	250
Nitrógeno total	85	40	20
Fósforo total	15	8	4
Cloruros	100	50	30
Alcalinidad	200	100	50
Grasas	150	100	50

Tabla 2.5 Composición típica de ARU bruta (Metcalf&Eddy, 1985)

Constituyente (µg/l)	CONCENTRACION			
	CONCENTRADA	MODERADA	DILUIDA	MUY DILUIDA
Aluminio	1.000	650	400	250
Arsénico	5	3	2	1
Cadmio	4	2	2	1
Cromo	40	25	15	10
Cobalto	2	1	1	0,5
Cobre	100	70	40	30
Hierro	1.500	1.000	600	400
Plomo	80	65	30	25
Manganeso	150	100	60	40
Mercurio	3	2	1	1
Níquel	40	25	15	10
Plata	10	7	4	3
Zinc	300	200	130	80

Tabla 2.6 Contenido en metales pesados en aguas residuales domésticas (Henze et al. 1995)

3.2 Variación temporal de la contaminación de las aguas residuales

A partir de los valores de cargas por habitante y día de diferentes contaminantes, con las dotaciones de abastecimiento por habitante y día, es posible calcular las concentraciones medias de contaminación. A lo largo del día, igual que los caudales, las concentraciones de un agua residual urbana varían siguiendo una curva similar a la de variación de caudales, con puntas casi idénticas, por ejemplo 1,5 en DBO₅. Con el análisis de estas curvas de variación de contaminación a lo largo del día, polutogramas, se pueden detectar ciclos productivos analizando las variaciones día-noche o

las variaciones entre días laborables y festivos. Estas curvas son fundamentales para discernir entre la contaminación que procede de las aguas residuales de tiempo seco y la de fenómenos asociados a episodios de lluvia (contaminación de superficie de cuenca o resuspendida de las conducciones).

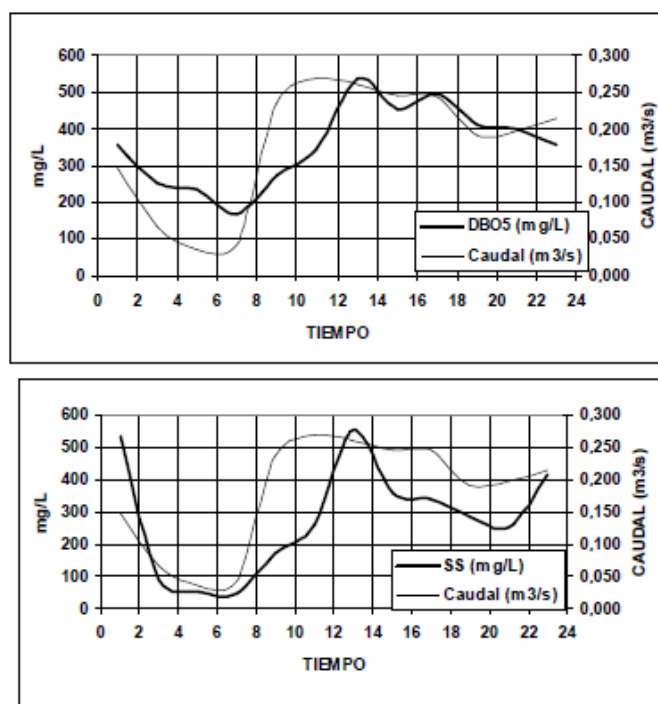


Fig 2.1 Evolución diaria de caudales y concentraciones de SS y DBO5 en la cuenca Triana-Los Remedios (18.000 habitantes) en Sevilla

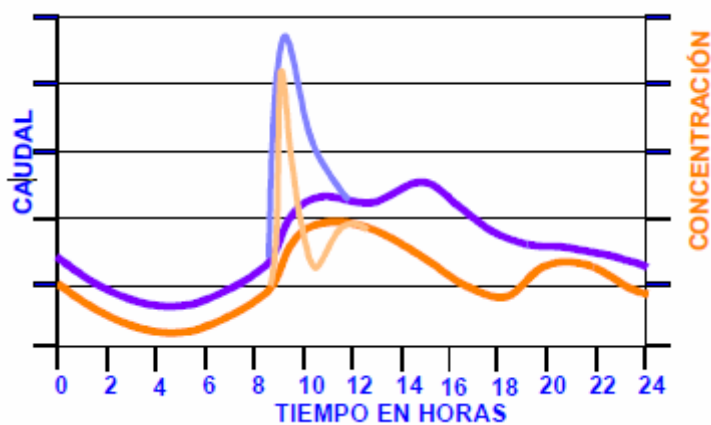


Fig 2.2 Diagrama que muestra la modificación del hidrograma y polutograma de tiempo seco por la entrada de escorrentía de lluvia en el sistema de alcantarillado

3.3 Contaminación asociada a depósitos de sedimentos en las redes de saneamiento.

La presencia de sedimentos en la red de saneamiento provoca una serie de efectos en la propia red y en el medio receptor, principalmente (Acker et al., 1996; Butler y Davis, 2000):

- Taponamiento de la red: la acumulación de sedimentos provoca una reducción de la sección y como consecuencia, una pérdida de capacidad de desagüe que puede causar el bloqueo de la tubería y propiciar la inundación de la superficie de la cuenca.
- Pérdida de sección y capacidad hidráulica de la red: en un alcantarillado la capacidad de desagüe se ve reducida por la pérdida de energía por el transporte de sedimentos. Ensayos de laboratorio indican que en tubería plásticas se reduce hasta un 7 % y para rugosas (hormigón o fundición) hasta un 2%.
- Son vectores de transporte o almacenamiento de contaminantes: la contaminación de la escorrentía urbana llega a los medios receptores a partir de dos tipos de vertidos, los directos de la red de pluviales en una red separativa y los reboses de sistemas unitarios; estos reboses, además de la contaminación propia de la escorrentía superficial urbana, vierten al medio receptor contaminación de las ARU de tiempo seco y de los sedimentos acumulados en las conducciones.

Los imbornales se colocan en la red de saneamiento para retener los sólidos gruesos, evitando su entrada a la red y minimizando posibles daños en la red y malos olores en las calles. Por su pequeño tamaño proporcionan unos tiempos de retención inferiores a los 5 minutos para la mayor parte de los episodios de lluvia, por tanto, la capacidad de retener partículas finas es bastante limitada; así las partículas inferiores a 50 micras supone entre un 10 y un 50 % de los sólidos totales movilizados. Otro proceso relacionado con la retención de partículas en el imbornal es la aparición de reacciones bioquímicas en tiempo seco que estarán relacionadas con la contaminación del agua con el siguiente aguacero. Por ejemplo, el ciclo del Sulfuro:

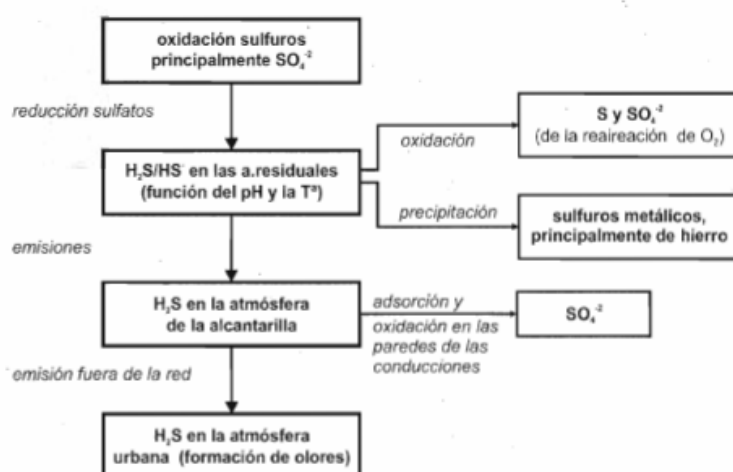


Fig 2.3 Ciclo del Sulfuro en las redes de alcantarillado (Hvited Jacobsen et al., 2002)

Existe una gran variabilidad en la tipología y características de los sedimentos que se pueden encontrar en la red de saneamiento; así aparecerán partículas con una baja velocidad de sedimentación que se depositarán únicamente durante periodos secos y partículas grandes y pesadas que forman parte del lecho de las conducciones y que se movilizan en episodios con flujos muy energéticos. La caracterización de los sedimentos es compleja, depende de las condiciones de cada cuenca (naturaleza del suelo, la existencia de distintos tipos de imbornales, las técnicas municipales de limpieza,...), la variabilidad espacial y temporal de los propios sedimentos, las distintas técnicas de muestreo y su nivel de incertidumbre. El estudio de referencia en la caracterización de los sedimentos fue desarrollado por Crabtree en 1989, en redes de saneamiento de Gran Bretaña; se propuso cinco grupos, A-E en función de la naturaleza, origen y localización de los sedimentos.

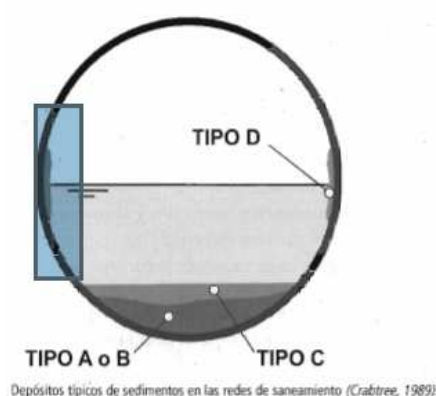


Fig 2.4 Depósitos típicos de sedimentos en las redes de saneamiento (Crabtree, 1989).

Los depósitos de tipo A y B están asociados a pérdidas de capacidad hidráulica en las redes, siendo los de tipo A la fuente más importante de contaminantes. Los grandes colectores tienen mayor cantidad de material tipo C mezclado con el A, mientras que las biopelículas (D) son importantes ya que son fácilmente erosionables, afectan a la rugosidad de la tubería y son los materiales que aportan mayor demanda de O_2 (Butler y Davies, 2002).

Otra de las clasificaciones más empleadas a la hora de caracterizar los sedimentos, propuesta en el informe del CIRIA (Construction Industry Research and Information Association) Design of Sewer to Control Sediment Problems (Ackers et al. 1996), diferencia entre sedimentos fecales, pluviales y granulares. Los sedimentos fecales son fundamentalmente de naturaleza orgánica, 65-75 %, con una densidad específica baja, inferior a 1,6 con baja velocidad de sedimentación, 1,5 m/h. Los sedimentos pluviales tienen una cuarta parte de materia orgánica, con densidades específicas inferiores a 1,5 en redes unitarias y sobre 2,4 en redes separativas. Los sedimentos granulares constituyen la mayor parte de los depositados en las redes, se transportan por el fondo, aunque en

episodios muy energéticos pueden resuspenderse, y se suelen definir como la fracción inorgánica superior a 150 μm con densidades específicas cercanas a 2,7.

4-LA CONTAMINACIÓN EN TIEMPO DE LLUVIA

En este apartado se va a describir la contaminación movilizada durante los episodios de lluvia y en las distintas redes, la separativa y la unitaria.

Dentro del marco del “**Proyecto CENIT Sostaqua-Desarrollos tecnológicos hacia el ciclo urbano del agua autosostenible (2007-2010)**” se ha llevado a cabo un estudio de “Valorización de las aguas pluviales” para identificar los beneficios potenciales de una gestión sostenible del agua de lluvia en el entorno urbano. Para ello se realizaron amplias campañas de caracterización del agua de lluvia en las ciudades de Barcelona, Santiago de Compostela y A Coruña. Se identificaron distintos puntos de control distribuidos por todo el recorrido urbano del agua de lluvia, desde su precipitación o primer contacto con la superficie (lluvia urbana); su paso por los tejados (escorrentía de tejado); su paso por la superficie de la ciudad (escorrentía superficial urbana); en caso de que haya sistemas de SUDS (Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible, también llamados TEDUS); su entrada en colectores (redes separativas y unitarias) e instalaciones asociadas (tanques de tormenta).

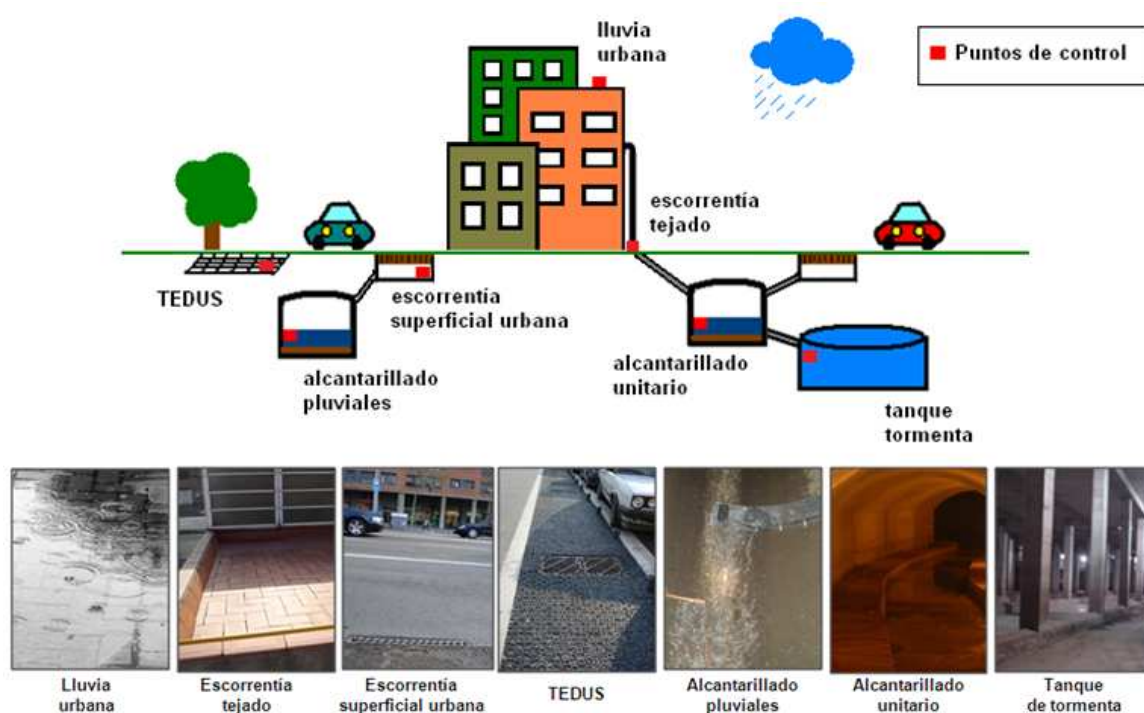


Figura 2.5. Puntos de control analizados en el recorrido urbano del agua de lluvia

Este estudio comprendió 17 puntos de control y unos 60 episodios de lluvia, analizando más de 100 parámetros (microbiológicos, sólidos, nutrientes, salinidad, materia orgánica, metales, disolventesclorados, pesticidas, etc). La metodología de muestreo varió en función del punto de

control, además de contar con medidores de caudal, pluviómetros y equipos automáticos para la toma de muestras.

Se presentan algunos resultados significativos para la ciudad de Barcelona:

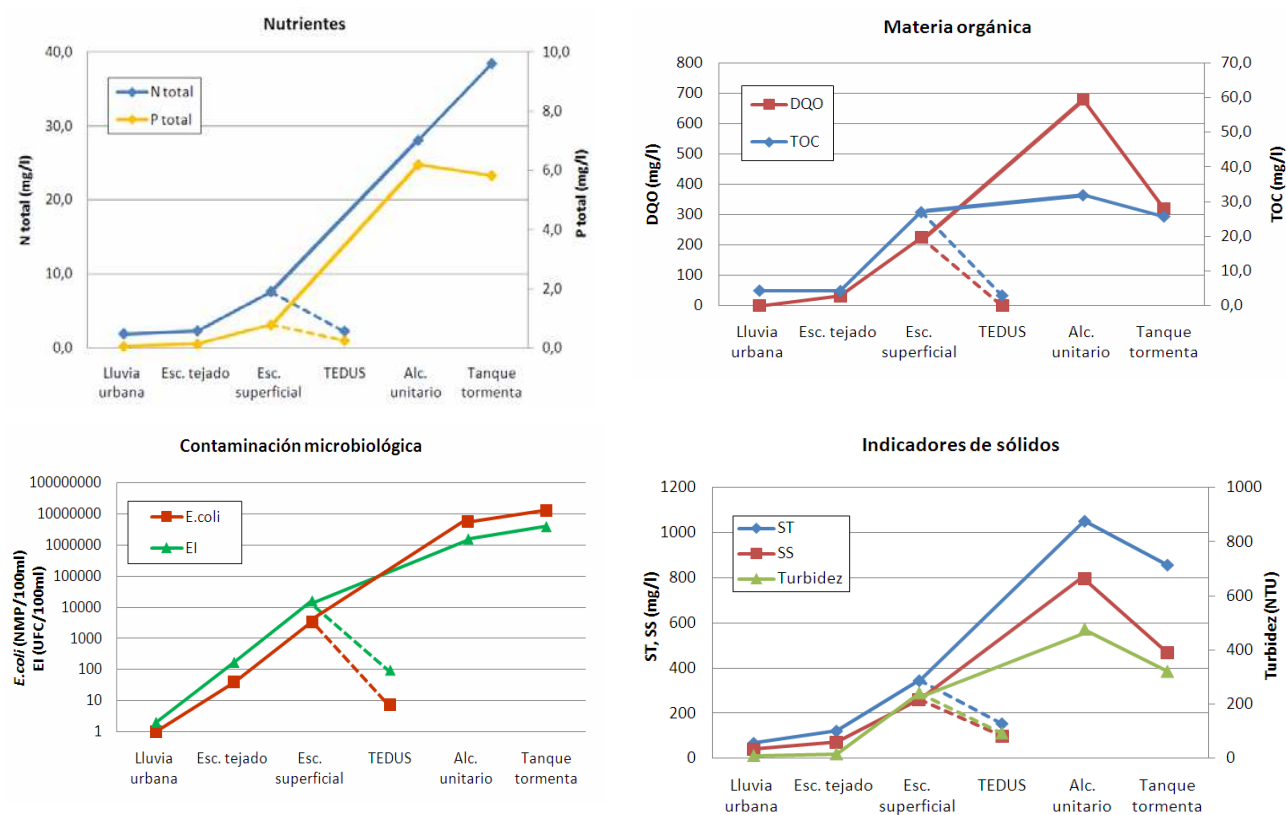


Fig 2.6 Resultados para la ciudad de Barcelona

En cuanto a contaminación microbiológica, las concentraciones de E.Coli y enterococos intestinales aumentan a escala logarítmica varias órdenes de magnitud al avanzar el recorrido urbano del agua de lluvia. Sobre los sólidos, en especial los sólidos en suspensión, aumentan su concentración a medida que se avanza en el recorrido urbano del agua de lluvia, igual que ocurre prácticamente con el resto de parámetros analizados y cabe destacar la presencia significativa de sólidos en la escorrentía superficial.

Tanto la materia orgánica como los nutrientes, buenos indicadores de la presencia de aguas residuales urbanas e industriales, en los primeros estadios del recorrido urbano son apenas detectados, pero en la escorrentía ya se registra un incremento de DQO y en el caso de los nutrientes, no es hasta el contacto con el agua residual, cuando los valores son detectados considerablemente.

El sistema de SUDS analizado, tipo “zanja de filtración” refleja claramente una disminución de la contaminación presente en la escorrentía superficial urbana; todos los contaminantes analizados en el agua de escorrentía filtrada por el sistema SUDS, presentan concentraciones claramente inferiores a las del agua de escorrentía superficial urbana, calculándose un grado de descontaminación superior al 70%.

En función de la carga contaminante detectada en cada uno de los puntos de control, se pueden clasificar en tres categorías:

- Carga contaminante baja: lluvia urbana, escorrentía de tejados y SUDS
- Carga contaminante media: escorrentía superficial y alcantarillado pluviales
- Carga contaminante elevada: alcantarillado unitario y tanque de tormentas en red unitaria

En relación a estos resultados es necesario incluir matices al respecto de cómo afecta la pluviometría a los niveles intermedios de contaminación; así por ejemplo, en ciudades mediterráneas con periodos prolongados de tiempo seco, los valores de contaminación son importantes debido a la primera limpieza por arrastre de contaminante depositados.

Categoría	Punto de control	Contaminantes principales detectados	Fuentes principales de aporte de contaminación
Carga contaminante baja	Lluvia urbana	No significativos	Contaminación atmosférica: combustiones incompletas originadas por el tráfico rodado, sistemas de calefacción, actividad industrial, etc.
	Escorrentía tejado	Sólidos	Lavado de la superficie de tejado: arrastre de sedimentos depositados en la superficie de tejado durante el tiempo seco precedente y corrosión de los materiales del propio tejado
	TEDUS (Zanja de Infiltración)	Sólidos y microbiológicos	Agua de escorrentía superficial urbana filtrada por el sistema de TEDUS
Carga contaminante media	Escorrentía superficial urbana	Sólidos, metales, materia orgánica y microbiológicos	Lavado de la superficie urbana: contaminación asociada a la intensidad del tráfico rodado, deposiciones de animales, erosión del pavimento, parques y áreas verdes, sedimentos procedentes de obras, etc.
	Alcantarillado pluvial		
Carga contaminante elevada	Alcantarillado unitario	Sólidos, metales, materia orgánica, microbiológicos y nutrientes	Lavado de la superficie urbana, resuspensión de sedimentos depositados en la red, biopelículas existentes en la red y agua residual
	Tanque de tormenta (en red unitaria)		

Fig 2.7 Categorías de los puntos de control en función de la carga contaminante detectada

4.1 Las redes separativas de aguas pluviales

El trabajo NURP (Nationwide Urban Runoff Program) de la US-EPA (1978-1983), que recopiló datos de precipitación, uso de la cuenca, caracterización de fuentes y escorrentía urbana, extrajo las siguientes conclusiones:

- La concentración de sólidos en suspensión totales (SST) presente en un aguacero varía en un rango de 3-5 veces la concentración media.
- Para otros constituyentes la variación sobre la concentración media es de 2 a 3 veces.
- Los metales pesados son los principales contaminantes en las aguas de escorrentía urbana; los límites de contaminación aguda y crónica para agua dulce son sobre pasados habitualmente para el Cu (47 % y 82 %), Pb (23 % y 94 %). Otros que superan el límite crónico son Zn (77 %) y Cd (48 %) siendo estos límites 120 y 2,2 µg/l
- Los nutrientes (N y P) se suelen presentar en cantidades moderadas.
- El tipo de uso de suelo no proporciona una base estadística para predecir diferencias en la concentración media

- No se obtuvo correlación entre concentraciones medias y volúmenes de escorrentía, indicando que en general, con factores independientes.

Además del uso de suelo o la intensidad del tráfico, el régimen pluviométrico influye bastante en la movilización de los contaminantes hacia el medio receptor. En regiones áridas, las concentraciones de metales, nutrientes y sedimentos son más altas que en regiones húmedas; este hecho puede estar relacionado con la erosión del suelo, ya que tienen poca cobertura vegetal. Por el contrario, en estas regiones no existe casi acumulación de PAH's, que deben ser degradados rápidamente por procesos de foto-remediación.

Comparando un estudio realizado por el Grupo de Ingeniería del Agua y de Medio Ambiente de la Universidad da Coruña, realizado en la cuenca de la red separativa de "Fontiñas" en Santiago de Compostela, con estudios de la bibliografía internacional, la movilidad de los contaminantes se observan valores similares:

Contaminante (mg/l)	REFERENCIA				
	ESP Fontiñas	CANADA	GRAN BRET	Novotny	Metcalf-Eddy
SS	50-590 (219)	-	21-2.582 (190)	3-11.000 (650)	67-101
DQO	26-180 (89)	86-119	20-365 (85)	-	40-73
DBO ₅	22-95 (50)	-	7-22 (11)	10-250 (30)	8-10
Pb	0,013-028	0,146	0,01-3,1 (0,21)	0,03-3,1 (0,3)	0,27-0,33
Zn	0,136-0,432	0,49	0,01-3,68 (0,3)	-	0,135-0,226
Cu	0,035-0,159	-	-	-	-

Tabla 2.7 Características de la contaminación de aguas de escorrentía en varias cuencas separativas; rangos y (CMS, concentración media del suceso), (Anta et al.2006)

4.2 Las redes unitarias de alcantarillado

La importancia de las descargas de los sistemas unitarios (DSU) y el impacto que provocan en los medios acuáticos receptores, ya se ha comentado a lo largo de la exposición.

Gromaire el al. (2001) indican que la red de alcantarillado no es solamente un sistema de transporte de las aguas residuales, sino que puede funcionar también como reactor con procesos químicos, físicos y biológicos que afectan a la calidad de los efluentes en tiempo seco y de unitarias en tiempo de lluvia, en concreto:

- Incremento en la proporción de contaminantes particulados
- Incremento en las concentraciones de SST, SSV DQO y DBO₅.
- Incremento de la velocidad de sedimentación de los sólidos
- Aumento de la proporción de materia orgánica de los SST.

Así, en general, durante los episodios de lluvia, la mayor parte de la contaminación movilizad por las redes unitarias tiene su origen en los sedimentos depositados en las redes de alcantarillado. La

mayoría de las partículas acumuladas erosionadas son de naturaleza orgánica, biodegradables y se movilizan progresivamente en los aguaceros a medida que la energía del flujo aumenta. En esta cuenca, el comportamiento de Cobre y el de los Hidrocarburos, es similar al de los sólidos o la DBO_5 , siendo la resuspensión de sedimentos la principal fuente de contaminación de las aguas de DSU. Pero metales como Cadmio, Cinc o Plomo, tienen su origen la escorrentía de los tejados, debido a que se utilizan en materiales de bajantes o canalones.

El “Programa Nacional de Medición de Descargas de Sistemas Unitarios” (PROMEDSU) fue realizado por el MMA para caracterizar los reboses de los alcantarillados unitarios en tiempo de lluvia (MMA, 2002); este estudio consistió en la ubicación de equipos de medida de parámetros de contaminación en la red de saneamiento de cinco cuencas urbanas: Madrid, Barcelona, Vitoria, Sevilla y Valencia.

En este estudio se pone de manifiesto la alta contaminación de las DSU, similar a las aguas residuales urbanas

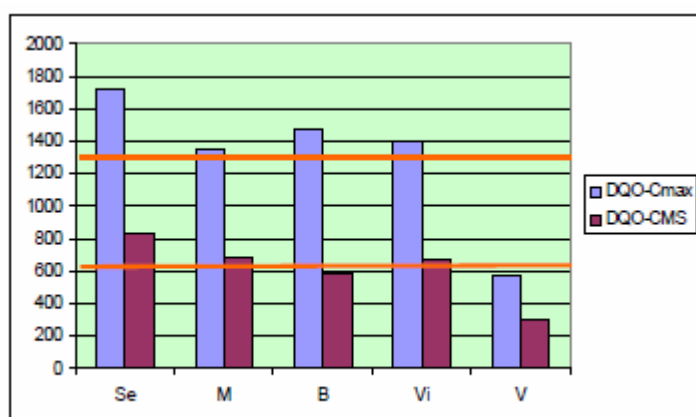


Fig 2.8 Resultados Promedsu

4.3 Comparativa de los contaminantes encontrados en las redes unitarias y separativas

Como resumen general, las redes separativas de pluviales se caracterizan por (OTV, 1994):

- Las concentraciones de SS y DQO son muy importantes, pudiendo llegar a ser superiores a las de las redes unitarias.
- Los SST tienen una composición fundamentalmente mineral (fracción orgánica sobre 30 %)
- La relación de biodegradabilidad (DQO/DBO_5) es débil, del orden de 4 a 6, frente a los 2-2,5 de un agua residuales en tiempo seco.
- Presencia muy importante de metales pesados e hidrocarburos
- Una gran parte de los contaminantes están fijados a los SS.

- La densidad de partículas y velocidad de caída es mayor que las redes unitarias, muy importante para los procesos de decantación. La escorrentía de pequeñas lluvias es menos decantables porque tienen una fracción orgánica superior.
- El tamaño de las partículas transportadas es grande en general, y mayor cuanto más aumenta la intensidad de la lluvia.

Mientras que las redes unitarias en tiempo de lluvia se caracterizan por (OTV, 1994):

- La fracción mineral de los SS es del orden del 40 al 60 %; la relación SSV/SS disminuye durante el desarrollo del suceso, se puede pasar del 70-80 % en tiempo seco a 40 % en tiempo de lluvia, lo que origina un aumento del contenido mineral a lo largo de los sucesos
- La relación DQO/DBO₅ es más elevada que para tiempo seco, pero inferior a la de las redes separativas, mostrando mayor biodegradabilidad de los contaminantes de una red unitaria.
- El contenido global de contaminación es importante, comparado con aguas negras urbanas tienen concentraciones más altas en SS, DQO y metales y están más diluidas en DBO₅ y ciertos contaminantes disueltos (N y P).
- Los metales pesados (Cd, Cu, Pb,...) están en gran proporción fijados a los SS y las cargas anuales de metales pesados son más importantes que las de las redes separativas menos para el Pb.

Contaminante	ESCORRENTIA URBANA		AGUAS RESIDUALES URBANAS			CMS
	Redes separativas		Antes del tratamiento		Tratamiento	PROMEDSU
	Rango	Valor típico	Rango	Valor típico	Valor típico	Valor medio
DOQ (mg/l)	20-275	75	250-1.000	500	80	582
SST (mg/l)	20-2.890	150	100-350	200	20	505
Ptotal (mg/l)	0,02-4,30	0,36	4-25	8	2	7
Ntotal (mg/l)	0,4-20,0	2	20-85	40	30	31,7
Pb (mg/l)	0,01-1,2	0,18	0,02-0,94	0,1	0,05	0,12
Cu (mg/l)	0,01-0,40	0,05	0,03-1,19	0,22	0,03	0,03
Zn (mg/l)	0,01-2,9	0,02	0,02-7,68	0,28	0,08	0,35
CF (UFC/100 ml)	400-50.000	-	10 ⁶ -10 ⁸	-	200	-

Tabla 2.8 Comparativa de la contaminación entre aguas residuales domésticas y de escorrentía urbana (US-EPA, 1999) con los resultados de las CMS (media) del estudio PROMEDSU

Como se puede observar, algunos contaminantes presentes en la escorrentía urbana, como DQO y SST, se vierten al medio con valores típicos superiores a los vertidos por una EDAR, con tratamiento secundario. Las DSU presentan un valor medio típico de una agua residual urbana, incluso con mayor concentración de sólidos y si hablamos de masa, como producto de la concentración por el caudal, las masas movilizadas por la escorrentía hacia el medio receptor a través de los vertidos directos de las redes separativas de pluviales y a través de las descargas de los sistemas unitarios, pueden ser superiores a las vertidas por las estaciones de tratamiento.

- CAPÍTULO 3 -

LA GESTIÓN DE LAS AGUAS PLUVIALES DESDE UNA PERSPECTIVA MEDIOAMBIENTAL.

1- INTRODUCCIÓN

Los vertidos que se producen al medio acuático desde las redes de saneamiento y drenaje en tiempo de lluvia, generan impactos significativos en los medios receptores, pero la erradicación de estos vertidos, es a corto plazo, inasumible. Por tanto, parece necesario tener criterios y referencias metodológicas que minimicen esta generación de impactos. El desarrollo de la Directiva Marco del Agua implica una mayor protección de la calidad del agua y establece la necesidad de identificar y valorar las presiones e impactos que sufren nuestros sistemas acuáticos; en nuestro país, “Evaluación IMPRESS cualitativa” comprende los estudios de la identificación de las masas de agua, la identificación de las presiones significativas, el análisis del impacto y la evaluación del riesgo de incumplir los objetivos medioambientales.

Este documento contiene una tabla de “valores umbral para identificar las presiones significativas procedentes de fuentes puntuales” y otra de fuentes difusas. Dentro de las fuentes puntuales, se considera como presión los vertidos urbanos de aglomeraciones superiores a 2000 h.eq, y cita “efectos de la escorrentía urbana”, lo que implica que en los vertidos en tiempo de lluvia deben ser considerados tanto los reboses (RAU) como los procedentes de redes separativas.

2- IMPACTOS DE LAS DESCARGAS URBANAS EN LOS MEDIOS RECEPTORES

Los sistemas de saneamiento y drenaje han ido evolucionando a lo largo de la historia, representando un compromiso entre las necesidades higiénicas, el bienestar humano, las necesidades técnicas y los recursos disponibles. Los nuevos diseños en la ingeniería del saneamiento urbano están motivados por el objetivo de calidad de los sistemas acuáticos, por tanto, parece adecuado plantear “sistemas integrales e integrados de saneamiento” o sea, una gestión de las aguas de escorrentía y residuales urbanas, de forma integrada.

Existe una gran variabilidad asociada a los procesos de contaminación por lluvia y las posibilidad de respuesta de cada masa de agua, dependerá de su caudal base y dimensiones; así en época de estiaje, cuando los caudales circulantes son bajos, si se produce un suceso de lluvia de cierta magnitud, la contaminación producida por una descarga de sistemas unitarios (DSU) puede ser muy alta. Esta

conjunción de estiajes y suceso de lluvia que produce una DSU, que algunos autores la llaman “estiaje húmedo” (Suárez, 1994), es una situación extrema de contaminación, totalmente transitoria, y cuyas consecuencias sobre el ecosistema son complejas. Clasificando los distintos contaminantes en función de la forma que actúan en relación al tiempo y espacio:

- Contaminantes de efecto inmediato: fenómenos que aparecen después de que el agua residual se vierta al medio y acompaña a los fenómenos de mezcla y dilución; puede ser contaminación por efectos agudos si hay impacto sobre el ecosistema
- Contaminantes de efecto diferido en el espacio: estos efectos se ven aguas abajo en el río, lejos del punto de vertido, por ejemplo la materia orgánica que provoca descenso de niveles de OD aguas abajo.
- Contaminantes de efecto diferido en el tiempo: el efecto se produce por acumulación, por ejemplo, los nutrientes que producen eutrofización, o metales pesados y sustancias orgánicas que producen bioacumulación; da lugar a contaminación crónica.

Por otro lado, se pueden agrupar según los procesos por las cinéticas e interacciones que se van a producir en las masas de agua, así pueden ser de tipo químico, bio-químico, físico, higiénico, estético, hidráulico e hidrológico.

Otro aspecto clave es evaluar los impactos en función de las características específicas del lugar estudiado teniendo en cuenta tres efectos básicos: cambios en la calidad del agua, riesgos en la salud pública y deterioro estético

TIPOS DE SISTEMAS ACUÁTICOS	CALIDAD DEL AGUA				SALUD PÚBLICA		ASPECTOS ESTÉTICOS	
	OXÍGENO DISUELTO	NUTRIENTES	SEDIMENTOS	TÓXICOS	PATOGENOS	TURBIDEZ	RESIDUOS	
RIOS								
PEQUEÑOS	■	□	■	■	■	□	■	
GRANDES	■	□	■	■	■	□	■	
ESTUARIOS								
PEQUEÑOS	■	■	■	■	■	■	■	
GRANDES	□	□	■	□	■	■	■	
LAGOS								
POCO PROFUND.	■	■	■	■	■	■	■	
PROFUNDOS	■	■	■	■	■	■	■	
POCO NORMAL □ ← → ■ ← → ■ MUY NORMAL								

Fig 3.1 Valoración cualitativa de los impactos producidos por los vertidos urbanos sobre sistemas acuáticos (House et al. 1993)

Tipología de impactos generados por los reboses de alcantarillado unitario en tiempo de lluvia		
Escala temporal	Caracterización	Variable indicadora
Agudo (minutos, horas)	Hidráulica	Caudal, erosión de fondo, tensiones tangenciales
	Química	Sustancias tóxicas (NH ₃)
	Física	Sólidos en suspensión
	Bio-química	Descenso O ₂

	Higiénica	Bacterias, virus
	Estética	Material flotante, olores
Diferido (días, semanas)	Hidráulica	Capacidad de transporte de sedimentos
	Química	Sustancias tóxicas (NH_3 , NO_2)
	Bio-química	Descenso O_2 en los sedimentos
	Higiénica	Bacterias y virus
	Estética	Flotantes, detritos, aceites
Acumulativo (meses, años)	Hidrológica	Régimen de caudales, morfología
	Química	Metales pesados, orgánicos habituales, sedimentos
	Bio-química	Descenso de O_2 (eutrofización)

Tabla 3.1 Impactos de las DSU en los medios acuáticos receptores

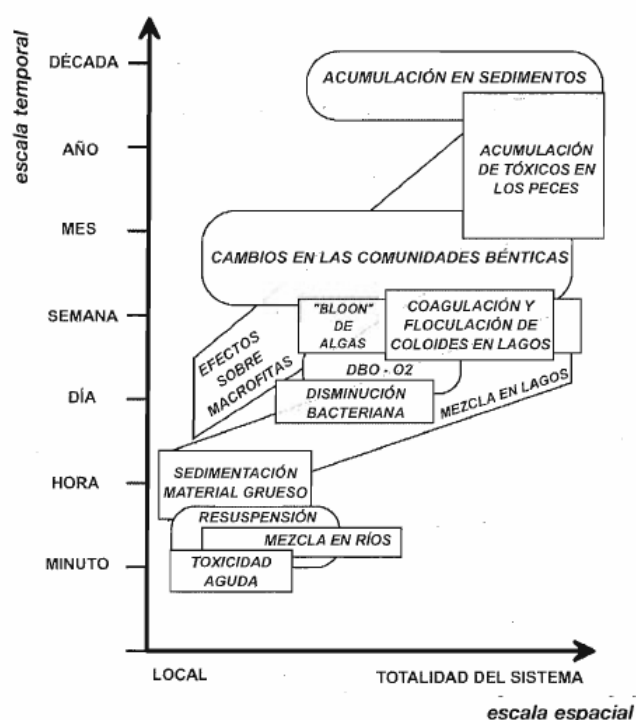


Fig 3.2 Escalas temporales y espaciales para los impactos sobre ecosistemas acuáticos (Lijklema et al., 1989)

2.1 Cambios en la calidad del agua

Oxígeno disuelto: El oxígeno disuelto (OD) es imprescindible para la vida de los ecosistemas acuáticos y por esto se utiliza como indicador global de la calidad del agua; normalmente, en la mayor parte de los ríos, es un buen indicador de su estado, pero con limitaciones, ya que no proporciona información de ciertas sustancias, como metales pesados. La presencia de materia orgánica o materia oxidable (DQO ó DBO) puede provocar consumo del OD de la masa de agua, llegando a asfixiar a los seres acuáticos. Algunas especies no pueden sobrevivir en aguas con concentraciones inferiores a 3 mg/l, mientras que hay otras más tolerantes que no se ven afectados, por ejemplo la carpa, que puede vivir con tan sólo 1 mg/l.

Nitrógeno: Es un elemento requerido por los seres vivos en cantidades ya que es el principal constituyente de las proteínas; se encuentra en varias formas en la naturaleza y su transporte y reacciones se caracterizan por “ciclo de nitrógeno”: Amoníaco (NH_3 , la forma más tóxica), Amonio (NH_4), Nitrógeno gas (N_2), Nitrito (NO_2), Nitrato (NO_3). El amoníaco mantiene un equilibrio en disolución con el ión amonio, dependiendo del pH y la temperatura, de forma que a pH neutro existe muy poco amoníaco en el medio. Es altamente tóxico en organismos invertebrados de agua dulce en concentraciones de 0,53 a 22,8 mg/l, y desde 0,83 a 4,60 mg/l de NH_4 para muchos peces. Además el nitrógeno es un nutriente importante en la eutrofización, el amonio provoca la formación de cloraminas, los nitratos contaminan el agua potable y los nitritos son perjudiciales tanto para la vida piscícola a bajas concentraciones (0,03 mg/l para ciprínidos y 0,01 mg/l en salmónidos) como para los mamíferos, ya que pasan muy rápido a la sangre y se fijan a la hemoglobina impidiendo la oxigenación de los tejidos (los nitratos pueden reducirse a nitritos por reacciones bioquímicas en el aparato digestivo).

La Directiva 91/271/CEE, sobre tratamiento de aguas residuales urbanas, exige unos requisitos mínimos de reducción en cuanto a valores globales de contaminación para todas las aglomeraciones urbanas mayores de 2.000 habitantes equivalentes y si el vertido se produce a zona sensible (lagos, masas de agua dulce, estuarios y aguas costeras que sean o puedan llegar a ser eutróficos), exige una reducción de nutrientes para aglomeraciones urbanas superiores a 10.000 habitantes equivalentes.

Parámetros	Concentración máxima	Porcentaje de reducción
DBO5	25 mg/l	70-90 %
DQO	125 mg/l	75 %
SST	35 mg/l	90 %
Fósforo total	2 mg/l hasta 100.00 heq y 1 mg/l para > 100.000 heq	80 %
Nitrógeno total	15 mg/l hasta 100.00 heq y 10 mg/l para > 100.000 heq	80 %

Tabla 3.2 Requisitos Directiva 91/271/CEE

Eutrofización: Los vertidos desde zonas urbanas y la escorrentía de zonas agrícolas e industriales, aportan a las masas de agua receptoras nitrógeno y fósforo, que son nutrientes de los productores primarios, las algas fundamentalmente. Este aporte de nutrientes hace que el crecimiento de las algas se vea favorecido y que se produzca un aumento de la vida piscícola; pero la muerte de las algas, la generación de detritus y la abundancia de materia orgánica favorecerá el crecimiento de organismos detritívoros en el fondo de los embalses; estos organismos consumirán el OD, pudiendo llegar a agotar todo el disponible y provocar la muerte de las algas y organismos que vivían en esa masa de agua. Este fenómeno es el que aparece cuando una masa está eutrofizada, proceso definido por la OCDE como “el enriquecimiento en nutrientes de las aguas que provoca la estimulación de una serie

de cambios sintomáticos, entre los que el incremento en la producción de algas y macrófitas, el deterioro de la calidad del agua y otros cambios sintomáticos, resultan indeseables e interfieren con la utilización del agua”. La contribución de las DSU y de las aguas pluviales a las cargas de nutrientes es insignificante comparada con las cargas provenientes de las EDAR, incluso después de eliminar nutrientes con procesos de nitrificación-desnitrificación y eliminación biológica o química del fósforo. En tiempo de lluvia son más importantes los efectos producidos en las EDAR, sobre todo por la sensibilidad del reactor biológico ante las variaciones de carga y caudal producidas.

Impacto de los sedimentos: La acumulación de gran cantidad de sedimentos con altas concentraciones de contaminantes en el entorno de los vertidos puede provocar impactos locales importantes, además, una vez son arrastrados y puestos en suspensión por nuevas condiciones hidráulicas, estos impactos pueden aparecer aguas abajo. El material orgánico contaminado en el lecho de la masa de agua receptora es un hábitat muy pobre para la mayoría de las especies por las condiciones anaerobias. Esta acumulación produce retrasos en la capacidad de recuperación de la corriente, la bioacumulación crónica de tóxicos y la constante demanda de oxígeno, afectando al ecosistema. Las tasas típicas de demanda béntica de oxígeno en condiciones estacionarias varían entre 0,15 y 2,75 g/(m².d) y durante las condiciones de una tormenta, el lecho puede elevar esta demanda hasta niveles de 240-1.500 g/(m².d) y producir una reducción en el OD hasta 2 mg/l.

Hidrocarburos: La contaminación por hidrocarburos en aguas de tormenta se empezó a tener en cuenta en la década de los noventa, se observó que en las aguas del primer lavado se arrastraban gran cantidad de hidrocarburos, aunque esta cantidad disminuía al aumentar la magnitud de la tormenta. De entre éstos, los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (PAH's) son insolubles en agua y pueden ser lixiviados de los asfaltos. El más estudiado es el Benzo α pireno, siempre está presente en mayor o menor cantidad y es conocido por su efecto cancerígeno en animales de laboratorio. Los PAH's afectan a órganos con células proliferantes como el epitelio del intestino, el tuétano de los huesos, órganos linfáticos y testículos. Se ha demostrado que una gran parte son mutagénicos y los cancerígenos pueden suprimir el sistema inmunitario

Temperatura: La temperatura tiene influencia en el equilibrio entre el nitrógeno amoniacal ionizado y el amoniaco, con la temperatura aumenta la saturación del oxígeno y el incremento de la misma puede afectar a la vida acuática en algunas etapas de sus ciclos vitales.

2.2 Impacto sobre las comunidades biológicas

Desde un punto de vista ecológico, las aguas vertidas en tiempo de lluvia producen toxicidad e inestabilidad en los hábitats, lo que favorece la existencia de especies tolerantes a esta contaminación y puede acabar con las especies menos tolerantes.

Los análisis biológicos de ríos contaminados sugieren que las concentraciones y las cargas asociadas con la escorrentía urbana son capaces de producir situaciones críticas limitantes para la biota de las aguas receptoras. Se han realizado numerosos estudios y en general, se ha demostrado que la diversidad de especies decrece y que la composición de la fauna refleja el tipo de contaminación.

2.3 Riesgos para la salud pública. Otros impactos.

Los vertidos asociados a aguas pluviales contienen una amplia variedad y alto número de bacterias patógenas y virus que producen riesgos potenciales a las exposiciones en lugares cercanos a los aliviaderos (House et al.,1993). El diseño de redes de alcantarillado unitarias implica el vertido de efluentes contaminados, lo que aumenta los riesgos de la salud pública, por ejemplo, en aguas de baño, suponen una presión al cumplimiento de los estándares de calidad. Además del baño, el consumo de mariscos y moluscos en áreas expuestas a vertidos de escorrentía urbana, representa un riesgo potencial para la salud. Las bacterias pueden llegar a enquistarse en los sedimentos, donde pueden sobrevivir largo tiempo y pueden llegar a extenderse.

Además, en el capítulo donde se analiza la gestión de las aguas desde una perspectiva social se ponen de relieve diversos estudios sobre la percepción social de la calidad del agua que hay que tener en cuenta al analizar los impactos de las descargas urbanas sobre los medios receptores.

Por tanto, en el desarrollo de nuevos criterios de control, se deben asociar no sólo los impactos físico-químicos y biológicos de la escorrentía urbana, sino también, los riesgos para la salud pública y el empeoramiento del aspecto estético, que afecta al posible uso de tales aguas.

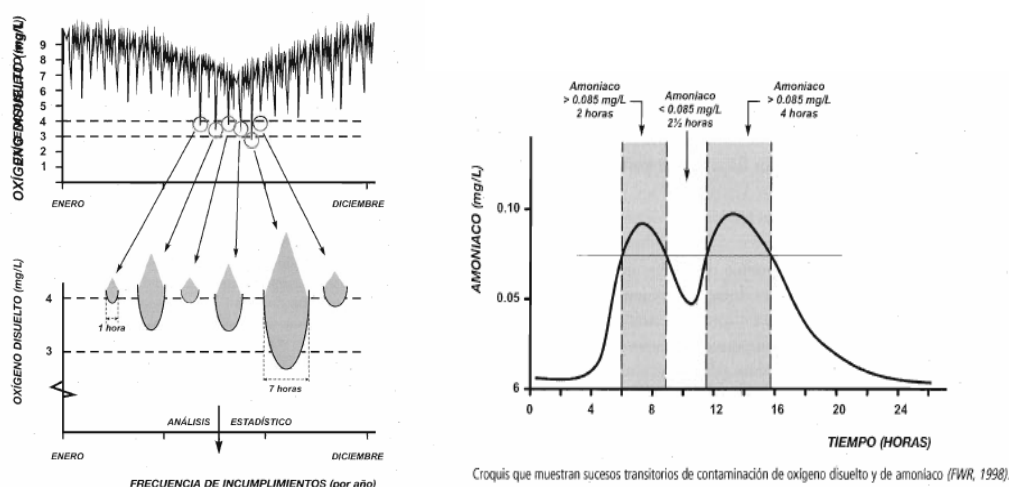
3- ESTANDARES DE CALIDAD DE AGUAS PARA SUCESOS TRANSITORIOS DE CONTAMINACION POR DESCARGAS INTERMITENTES

Como ya se ha comentado con anterioridad, parece necesario elaborar una estrategia específica que permita sobrepasar ocasionalmente los límites de emisión y los estándares de calidad de aguas en los medios receptores de forma transitoria, sin causar impacto significativo sobre los ecosistemas acuáticos. El impacto de las DSU sobre las diversas masas de agua ha sido muy estudiado y se han generado distintos estándares de calidad de agua para la protección de los diferentes usos (baño, vida piscícola, prepotables, etc.), pero se ha puesto poca atención al desarrollo de estándares de control para las descargas intermitentes que puedan generar sucesos transitorios de contaminación.

Gran parte de la normativa específica estándares de calidad de aguas cuyo cumplimiento se basa en que las muestras que se tomen no deben incumplir unos determinados percentiles. Para aguas continentales, se suelen incluir parámetros como DBO, OD, amonio total y no ionizado; el cumplimiento en DBO o en amonio suele referirse al cumplimiento en un 90-95 %, mientras que relativo OD, suele ser el 10 %. El objetivo de este tipo de estándares es asegurar un adecuado nivel

de protección de los ecosistemas contra los vertidos en continuo. Pero, las descargas en tiempo de lluvia pueden afectar a la calidad de las masas de agua en cortos periodos de tiempo y generar impactos desproporcionados sobre la vida acuática del medio receptor y no ser registrados por los planes de control tradicionales. Sin embargo, la eliminación de estos vertidos de tiempo de lluvia con el fin de respetar los estándares de calidad del medio receptor puede implicar inversiones muy costosas, que podrían no ser socialmente asumibles. La búsqueda de las mejores soluciones coste/beneficio puede implicar aprovechar al máximo la capacidad de autodepuración de los sistemas acuáticos sin perder por ello los objetivos de calidad. Los criterios de diseño de las infraestructuras de control y tratamiento de aguas pluviales en sistemas unitarios se suelen basar en alcanzar alguno, o varios, de los objetivos siguientes, basados en el control de las emisiones: dilución, captura de lluvia, captura del primer lavado, limitar número de horas de vertido a través de un aliviadero, etc. Pero, ¿cuánto hay que reducir los sucesos de vertido para mantener o alcanzar el buen estado ecológico o los usos planificados?.

Este problema ya ha sido analizado en otros países, como Gran Bretaña, Dinamarca o EE.UU. en la línea de trabajo del desarrollo de “estándares intermitentes de calidad de aguas”, que suelen trabajar con tres variables (dosis, duración y frecuencia), centrándose en parámetros fisicoquímicos, por ejemplo, las concentraciones de OD necesarias para la protección de la vida piscícola. La muerte de peces causada por un descenso de los niveles de OD causados por una descarga de DSU acabará con toda la población si el suceso es demasiado largo, pero ¿con qué frecuencia se va a producir este fenómeno?. Este aspecto se puede evaluar mediante técnicas de sucesos extremos y no mediante criterios elaborados para descargas continuas. Este tipo de aproximaciones requieren análisis de sucesos transitorios como los reflejados en la figura:



Por parte del “Water Research Centre”, en Gran Bretaña, se han llevado a cabo estudios de campo y laboratorio con los que se ha podido establecer la influencia relativa de las concentraciones, duración y frecuencia de pulsos de contaminación simulados. Con estos resultados fue posible desarrollar las primeras aproximaciones de estándares tridimensionales (dosis-duración-frecuencia) para OD y amonio. Otros autores han trabajado sobre otros estándares, Ellis et al. (1992) sobre tasas de bioacumulación sobre invertebrados; Whitelaw y Solbé (1989) sobre datos de toxicología existentes desarrollaron estándares sobre concentraciones y tiempos de exposición, que han servido para fijar concentraciones aceptables de OD con sus tiempos de exposición; de aquí se han desarrollado estándares aplicados en Dinamarca; la US-EPA está trabajando en criterios de calidad de sedimentos, para lo que es necesario establecer las metodologías para los estudios ecotoxicológicos e identificar las especies adecuadas.

3.1 Criterios, estándares y objetivos de calidad de agua

La definición de “criterio de calidad de agua” según Hvited-Jacobsen (1982): “un criterio de calidad de agua representa, de forma ideal, la concentración de una sustancia cuya presencia produce cierto grado de efectos ambientales en base a juicios y opiniones científicas; desde un punto de vista práctico, un criterio implica la adopción de un valor de concentración de una sustancia que, cuando no se excede, protegerá a los organismos, a una comunidad, o a un determinado uso del agua, con un adecuado grado de seguridad”.

Los criterios de calidad se establecen a partir de los resultados de experimentos biológicos (bioensayos, ecotoxicología, etc) y de evidencias procedentes de la exposición humana accidental (epidemiología). Los estándares son un punto de referencia para determinar la calidad del agua, pero, no resuelven por completo el problema del carácter relativo de la calidad, porque ellos también están sujetos a cierta relatividad y a medida que se estudian más datos sobre las consecuencias de la contaminación, los estándares son revisados con independencia del medio; parece conveniente establecer estándares diferentes para contextos territoriales distintos.

3.2 Aspectos complementarios para el análisis de sucesos de contaminación transitorios.

Como ya se ha comentado, una de las aproximaciones para el desarrollo de estos estándares transitorios de contaminación es la variable tiempo-duración-frecuencia.

Esta gráfica presenta cómo se relaciona las tres variables, a mayor periodo de retorno (sucesos menos frecuentes), la concentración del contaminante puede ser más alta, si bien, con la otra variable, el tiempo de exposición, a mayor concentración menor tiempo de exposición.

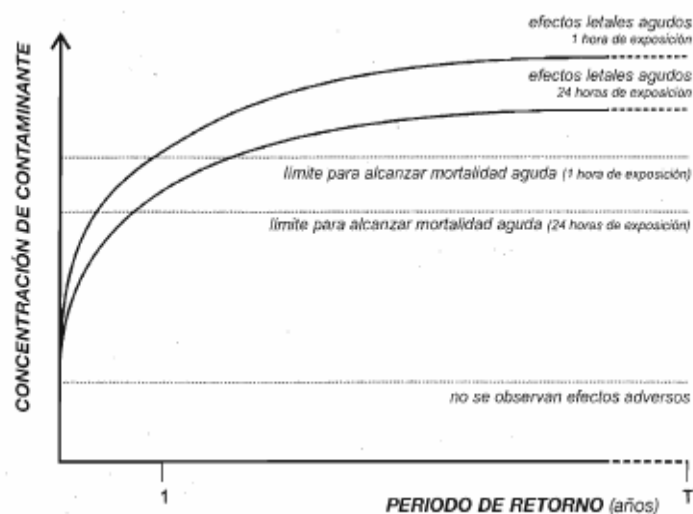
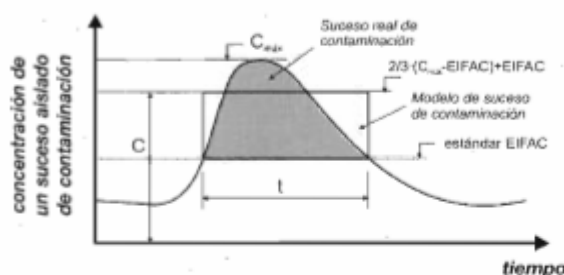


Fig 3.4 Relación entre las variables dosis-duración-frecuencia en el desarrollo de estándares intermitentes

Para saber el tiempo que su episodio de contaminación excede el estándar es necesario medir la concentración del contaminante y el tiempo de exposición del organismo indicador a ese nivel.

Un ejemplo se muestra en la figura siguiente (Whitelaw y Solbé, 1989), que usa como referencia los estándares de la “European Inland Fisheries Advisory Comision” (EIFAC), donde:

- Para concentraciones menores que los estándares del EIFAC un contaminante se considera que no es dañino para el pez.
- La concentración del contaminante C está definido por:



Suceso de contaminación: definición de la concentración y duración (Whitelaw y Solbé, 1989).

Fig 3.5 Suceso de contaminación: definición de la concentración y duración (Whitelaw y Solbé, 1989)

$$C = (2/3) \times (\text{máxconc} - \text{estánd EIFAC}) + \text{estánd EIFAC}$$

Para el OD se usa el valor de 3,4 en lugar del valor estándar EIFAC; la fracción 2/3 se usa como una primera aproximación para describir el área sombreada

- El tiempo de exposición, t , se deduce a partir de la construcción de un rectángulo de altura $C - \text{estánd EIFAC}$ y anchura t , que es un área igual a la curva real del polutograma sobre el estándar de la EIFAC.

3.3- Estándares disponibles para sucesos transitorios de contaminación

3.3.1- Desarrollados en Dinamarca

En tiempo seco para un río truchero, el estándar de calidad para el OD es una media diaria de 9 mg/l, con un valor mínimo de 6 mg/l; estos valores se deben cumplir en descargas continuas.

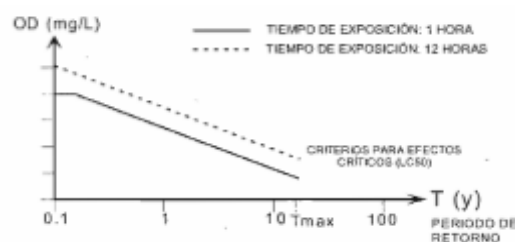


Fig 3.6 Principio de los criterios de impacto sobre la calidad del agua por sucesos transitorios de contaminación (Harremoes, 1988).

Pero como estos valores no se cumplirán durante las DSU, se han formulado estándares específicos. En la figura anterior se muestra el principio de definición de los efectos de las bajas concentraciones de OD producidas por una DSU sobre los peces.

3.3.2 Desarrollados en Gran Bretaña

El manual “Urban Pollution Management” (UPM) de la Foundation for Water Research (FWR), desarrollado en Gran Bretaña en 1998, presenta una metodología completa basada en estándares para tiempo de lluvia que están directamente relacionados con las situaciones que causan impacto sobre los ecosistemas de agua dulce, basadas en investigaciones ecotoxicológicas. Estos estándares, para OD y amonio no ionizado, se expresan en términos de concentración y duración, asociados a rangos de periodos de retorno para sucesos independientes.

El UPM considera dos posibles aproximaciones:

- A) Estándares intermitentes, relacionados con las características de los sucesos que causan estrés en los ecosistemas y se expresarían en términos de concentración-duración. Han sido denominados FIS (Fundamental Intermittent Standards)
- B) Estándares que trabajen con percentiles de cumplimiento altos, como el 99 %, que surgirían como extrapolación de los percentiles 90-95 % más utilizados para vertidos continuos.

A- Estándares basados en dosis-duración-frecuencia:

Tras diversas investigaciones ecotoxicológicas (Milne et al., 1992), los resultados se tradujeron en una formulación de estándares intermitentes para el OD y el amonio no ionizado. Se desarrollaron tres juegos de estándares en función de ecosistema receptor, relacionados con los niveles de protección para episodios con periodo de retorno inferior a un año, en base a los siguientes escenarios:

- a) Ecosistemas deseables para la existencia sostenible de salmónidos
- b) Ecosistemas deseables para la existencia sostenible de ciprínidos
- c) Ecosistemas marginales para la pesca de ciprínidos

Para los escenarios a y b, los estándares proporcionan protección para todo tipo de estadios de vida (peces, invertebrados, plantas) y para el c, proporcionan protección adecuada para peces resistentes adultos, con posible excepción de especies más sensibles.

Periodo de retorno	Concentración máxima de OD (mg/l)								
	Salmónidos			Ciprínidos			Marginales de ciprínidos		
	1 h	6 h	24 h	1 h	6 h	24 h	1 h	6 h	24 h
1 mes	4	5,5	6	4	5	5,5	3	3,5	4
3 meses	4,5	5	5,5	3,5	4,5	5	2,5	3	3,5
1 año	4	4,5	5	3	4	4,5	2	2,5	3

Tabla 3.3 Estándares intermitentes para oxígeno disuelto (FWR, 1998)

Periodo de retorno	Concentración máxima de N-NH ₄ (mg/l)								
	Salmónidos			Ciprínidos			Marginales de ciprínidos		
	1 h	6 h	24 h	1 h	6 h	24 h	1 h	6 h	24 h
1 mes	0,065	0,025	0,018	0,15	0,075	0,03	0,175	0,1	0,05
3 meses	0,095	0,035	0,025	0,225	0,125	0,05	0,25	0,15	0,08
1 año	0,105	0,04	0,03	0,25	0,15	0,065	0,3	0,2	0,14

Tabla 3.4 Estándares intermitentes para nitrógeno amoniacal (FWR, 1998)

Las figuras siguientes muestran de forma tridimensional los criterios del WRc, usados en el UPM, para OD y N-NH₄.

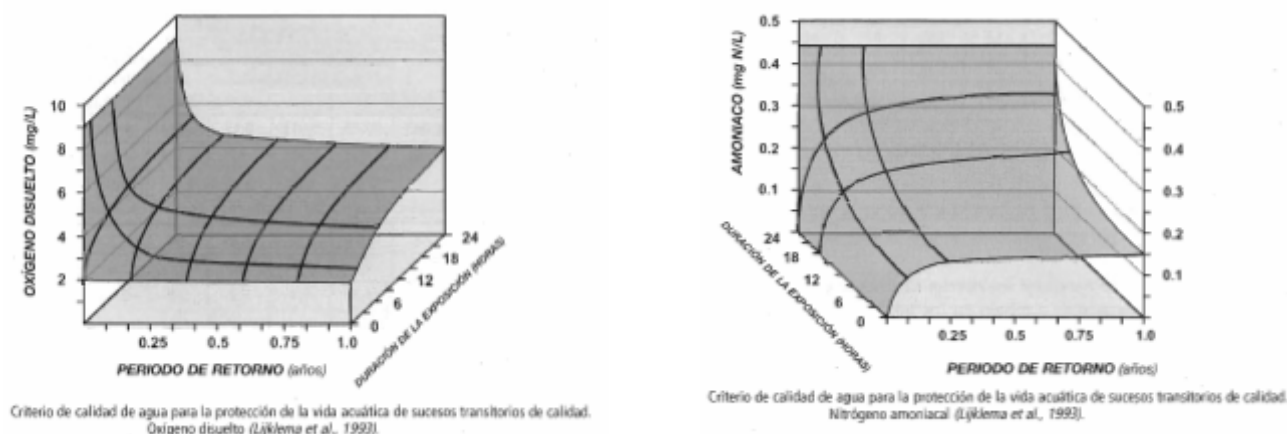


Fig 3.7 Criterios de calidad para la protección de la vida acuática de sucesos transitorios de calidad: O.D y Nitrógeno amoniacal

Se ha demostrado en varios estudios que existen efectos sinérgicos tóxicos entre el amonio y bajos niveles de oxígeno disuelto. Descensos de concentraciones de OD de 8 a 3 mg/l incrementan la toxicidad del amonio en un factor entre 2 y 5. Por tanto, a los estándares de OD hay que aplicar unos factores de corrección cuando los valores de nitrógeno amoniacal no ionizado son altos, y debe haber correspondencia entre ambos estándares en el periodo de exposición y en el periodo de retorno. A su

vez se deben aplicar factores de corrección para calcular los estándares de amonio no ionizado con bajas concentraciones de OD.

B- Estándares basados en el cumplimiento de percentiles altos:

La segunda aproximación que se realiza en el UPM es definir criterios con percentiles altos de tiempo de cumplimiento, tales como los basados en el 99 %, a partir de una extrapolación de los percentiles 90-95 %, usados para proteger los ecosistemas que reciben descargas en continuo. En la siguiente tabla se muestra una comparación entre los estándares actuales, basados en percentiles 90-95 %, usados en Inglaterra y Gales, para DBO₅ y amonio (mg/l), con una posible propuesta para estándares basados en percentil 99 %, siendo las clases RE1 hasta RE5 de mejor a peor calidad

Clase	DBO5 p 90	DBO5 p 99	NH4 t p 90	NH4 t p 99	NH4 no ion p 90	NH4 no ion p 99
RE1	2,5	5	0,25	0,6	0,021	0,04
RE2	4	9	0,6	1,5	0,021	0,04
RE3	6	14	1,3	3	0,021	0,04
RE4	8	19	2,5	6	-	-
RE5	15	30	9	25	-	-

Tabla 3.4 Comparación entre los estándares actuales (basados en percentiles 90 y 95), utilizados en Inglaterra y Gales para la "RiversEcosystemClassification" con una posible propuesta para estándares basados en el percentil 99 (FWR, 1998)

3.3.3 Desarrollados en EE.UU.

Los valores de OD propuestos por la US-EPA para sucesos transitorios son los siguientes:

Nivel de daños	Salmónidos		Otras especies	
	Adultos	Jóvenes	Adultos	Jóvenes
Ligeros	6	9	5	5,5
Moderados	5	8	4	5
Severos	4	7	3,5	4,5

Tabla 3.5 Criterios US-EPA para la evaluación de daños causados por concentraciones bajas de O.D (Tabuchi, 1991, citado por Chocat et al.,1994)

La US-EPA propone en su “Deriving Numerical National Water Quality Criteria” (1986) los siguientes valores para nitrógeno amoniacal.

- Para salmónidos y otras especies de agua fría, la concentración media de amonio no ionizado y total (mg/l) para una hora de exposición en mg/l.

Parámetro	pH	Temperatura			
		5 °C	10 °C	15 °C	20 °C
Amonio no ionizado	6,75	0,021	0,03	0,042	0,059
	7,0	0,033	0,046	0,066	0,093
Amonio total	6,75	30	28	27	27
	7,0	26	25	24	23

- Para salmónidos y otras especies de agua fría, la concentración media de amonio no ionizado y total (mg/l) para cuatro días de exposición en mg/l.

Parámetro	pH	Temperatura			
		5 °C	10 °C	15° C	20 °C
Amonio no ionizado	6,75	0,0017	0,0023	0,0033	0,0033
	7,0	0,0029	0,0042	0,0059	0,0059
Amonio total	6,75	2,4	2,2	2,2	1,49
	7,0	2,4	2,2	2,2	1,49

3.3.4 Experiencias en España.

La empresa CLABSA, que gestiona el sistema de alcantarillado de la ciudad de Barcelona, utiliza los estándares de calidad ambientales para conseguir un adecuado diseño de todas las estructuras anti-DSU. Para conseguir este planteamiento, se necesita una modelización integrada de la red de drenaje urbano y del medio hídrico receptor, conseguida a través de la Gestión avanzada del drenaje urbano (GADU) detallada en el Anejo 4.

Para definir los estándares de emisión se han elaborado unas curvas (número de episodios de DSU anuales-volumen de depósitos anti-DSU) y (volumen de DSU anual-volumen de depósitos anti-DSU) para determinar el volumen de diseño óptimo asociado al estándar de emisión elegido.

Sobre la base del marco normativo de indicadores biológicos para aguas de baño costeras, CLABSA aplicó en el Plan Integral de Alcantarillado de Barcelona (PICBA'07) los estándares intermitentes de calidad ambiental sobre la temporada de baño; así el estándar de calidad fue el porcentaje medio de tiempo en el cual se sobrepasan las concentraciones máximas indicadas por la Directiva de baño. Este porcentaje se fijó al 1,5 % de la temporada de baño; este estándar equivale a admitir aproximadamente 3 vertidos de DSU durante la temporada.

- CAPÍTULO 4 -

LA GESTIÓN DE LAS AGUAS PLUVIALES DESDE UNA PERSPECTIVA SOCIAL

1- INTRODUCCIÓN.

En este capítulo se analizan las cuestiones de tipo social involucradas en la gestión de las aguas pluviales en ámbitos urbanos. El punto de partida de esta gestión tiene que ser la propia ciudad, sus habitantes, su ideología, su cultura, su ética, sus valores, sus relaciones sociales, ya que, al fin y al cabo, un proyecto de drenaje urbano, como toda obra de infraestructura urbana, se diseña con el objetivo de mejorar la calidad de vida de la población en su conjunto.

Por incoherente que parezca, hay pocas experiencias en España o en el resto de Europa en este sentido. Por ello, nos centramos fundamentalmente en las experiencias desarrolladas en otros países más sensibles a las cuestiones sociales.

2- PROBLEMAS DE ÍNDOLE SOCIAL RELACIONADOS CON LA GESTIÓN DE LAS AGUAS PLUVIALES EN ÁMBITOS URBANOS.

Solucionar los problemas asociados a las aguas pluviales implica no sólo disponer de las tecnologías y de la financiación adecuada, sino también resolver cuestiones sociales que, en general, se han dejado bastante apartadas. Así, se pueden señalar las siguientes (Morroni, y otros, 2003):

1- Desde la perspectiva sociocultural:

- a. Existen percepciones, concepciones y prácticas, a nivel técnico, social y político, que tienden a subestimar los problemas asociados a la gestión de las aguas pluviales.
- b. En un ámbito urbano, es difícil que la sociedad entienda las relaciones existentes entre el medio construido y el soporte natural que lo sostiene.
- c. Las prácticas y destrezas sociales que aún perviven en ámbitos más rurales en relación a la gestión de las aguas pluviales han sido olvidadas.
- d. En general, existen dificultades y/o resistencias para desarrollar actividades de reflexión y pensamiento crítico.

En este contexto, es importante poner de relieve los distintos estudios, realizados en EE.UU y Gran Bretaña, que evalúan la percepción del público sobre la calidad del agua de los ríos y en los corredores fluviales. Los resultados sugieren que el ciudadano tiene una idea clara de qué

considerar como agua contaminada, pero tiene menos certeza de lo que constituye un agua limpia, además, existe la idea de que la mayoría de los ríos urbanos están contaminados, a pesar de tener buenas características físico-químicas y biológicas. Los usuarios más críticos son los paseantes, luego están los piragüistas y los menos críticos son los pescadores; esto refleja lo importante que es el uso y la posibilidad de estar en contacto con el agua para valorarla. Los ciudadanos solo perciben los beneficios económicos de la construcción de sistemas de alcantarillado, depuradoras y sistemas de tratamiento y control de los reboses si perciben una mejora en la calidad de las aguas y los usos de las agua se incrementan.

2- Desde la perspectiva político – administrativa:

- a. Las administraciones públicas afrontan los problemas de gestión de las pluviales de manera impositiva y discrecional, de arriba hacia abajo.
- b. Los políticos prefieren llevar a cabo actuaciones *visibles* antes que adoptar medidas de gestión que mejoren la eficiencia de todo el sistema.
- c. El reparto de funciones entre las distintas administraciones limita la adopción de soluciones integrales que afecten a distintos ámbitos competenciales (ayuntamientos – confederaciones, aguas – industria – agricultura – urbanismo).
- d. No se facilita ni se incentiva que toda la sociedad participe activamente en la adopción de las distintas políticas públicas.
- e. Se intenta resolver con criterios electoralistas cuestiones que son técnicas y que tienen que solucionarse atendiendo al criterio del interés general.

3- Desde la perspectiva de la propia definición del problema: Si la gestión de las aguas pluviales se define como un problema de agua que hay que evacuar de un lugar y que tiene su origen en la naturaleza que produjo un evento catastrófico, entonces, oscilaremos entre una mirada más “naturalista” que acepta el castigo periódico de la inundación y otra más “urbano/hidráulica” que postula que lo natural puede ser vencido o dominado por la técnica y cuyo punto de equilibrio siempre está más adelante. Si se define como un problema de relación entre soporte natural y medio construido, que puede producir consecuencias medioambientales negativas, entonces, daremos paso a una mirada más “ambientalista”, que promueve la recomposición y la reconstrucción de esa relación entre lo natural y lo urbanizado, ampliando los grupos que participan en la búsqueda de las soluciones y con un enfoque integral (Morróni, y otros, 2003).

3- LA RESOLUCIÓN DE LOS PROBLEMAS SOCIALES RELACIONADOS CON LA GESTIÓN DE LAS AGUAS PLUVIALES.

En nuestra opinión, el enfoque adecuado para afrontar los problemas sociales es el que entiende la gestión de las aguas pluviales no sólo como una cuestión de volumen excesivo de agua o de contaminación, sino también como un problema de gestión eficiente de los recursos hídricos (reutilización) y de degradación del paisaje urbano (Valls Benavides, y otros, 2008).

Así, la información o la educación pública sobre el valor de las aguas pluviales y su funcionamiento, la recuperación de las mismas como parte importante en la vida de la ciudad, permitiendo que afloren en superficie, o la participación en todo el proceso de gestión de estas aguas son herramientas que permiten resolver las cuestiones sociales enunciadas anteriormente.

Estas herramientas tienen que estar presentes desde el primer momento, en el ámbito de la planificación, donde nosotros creemos que es clave la perspectiva social. En nuestra opinión, para integrar los aspectos sociales en la gestión de las aguas pluviales es necesario planificar *para* tomar las mejores decisiones y participar *en* la toma de esas decisiones.

En este sentido, se pueden señalar tres formas de llevar a cabo la planificación, de aplicación en este contexto (Morroni, y otros, 2003):

- 1- Planificación Estratégica Situacional (PES).
- 2- Planificación Participativa y Gestión Asociada - Planificación Intersectorial Participativa y Estratégica (PPGA).
- 3- Planificación Estratégica (PE).

En el siguiente cuadro se pueden apreciar las diferencias entre los tres enfoques.

CUADRO COMPARATIVO DE PLANIFICACIÓN
Héctor Poggiese con colaboración de Mariana Segura, 2002. Ajustado por Héctor Poggiese, 2009.

	PES Planificación Estratégica Situacional	PPGA Planificación Participativa y Gestión Asociada - Planificación Intersectorial Participativa y Estratégica	PE Planificación Estratégica
Origen	CEPAL, planificación centralizada. Décadas del sesenta y setenta.	UNESCO/ UNEP, educación popular, medioambiente. Décadas del setenta y ochenta	Universidad de Harvard, empresas. Década del noventa.
Participación de la comunidad	No se la llega a plantear, no es condición.	Es condición, reducción de diferencias, simultaneidad.	Consulta institucionalizada corporativa.
Sectores	Situaciones de poder compartido.	La intersectorialidad es condición.	Agregación de actores locales por temática.
Diagnóstico	Situacional.	Situacional Dialógico.	Matriz FODA.
Rol y tipo de planificador	Un cuadro político del Estado capaz de dirigir y orientar las estrategias.	Un grupo multactorial mixto (político, técnico, comunitario) y flexible, que articula recursos y trabajos diversos.	Equipos técnicos especializados, contratado por el gobierno: actúan como "emprendedores urbanos".
Institucionalidad	Propia del Estado.	Construida por acuerdo de actores.	Trabajo tercerizado legitimado por el Gobierno.
Estructura y diseño: momentos	- Explicativo - Normativo - Estratégico - Táctico	- Preparatorio (intersectorial / participativo) - Implementación Estratégica - Gestión Asociada - Reformulación y ajuste	- Diagnóstico explicativo - Plan (político / estratégico) - Cartera de proyectos
Resultados	Un proyecto viable.	Un proyecto viable más un tejido social activo: una red de planificación.	Un libro de difusión orientado a los inversores.
Autor del plan	El planificador, como un político-técnico.	Un grupo mixto: co-autoría.	Equipo de expertos.

Fig 4.1 Enfoques planificación (Morroni y otros 2003)

4- EXPERIENCIAS EN ESTE ÁMBITO.

4.1- Experiencias de los planes maestros de drenaje urbano.

En este contexto, como experiencias destacables en el ámbito social creemos que son importantes las desarrolladas a través de los planes maestros de drenaje urbano (PMDU), elaborados en países como Argentina o Brasil.

En los **planes maestros de Argentina**, a partir de diferentes experiencias y estudios pilotos, se ha desarrollado una metodología basada en la Planificación Participativa y Gestión Asociada (Morróni, y otros, 2003). La idea central es la de planificar mientras se gestiona y gestionar mientras se planifica, interviniendo con actores colectivos de manera continua en los procesos que modelan la realidad que se quiere transformar. En todo este proceso se proponen tres etapas:

- 1- **Etapla Preparatoria:** se compone con tres líneas de acción para la formulación del PMDU, que funcionan en forma simultánea y paralela:
 - a. Línea de investigación: se desarrollan todos los estudios y trabajos necesarios para profundizar en cada tema (físicos, químicos, técnicos, económicos, sociales...), desarrollando una recopilación de información, un análisis de la misma y un primer diagnóstico de la problemática, particularizados por cada disciplina.
 - b. Línea de Investigación-Acción: se define la realidad social de las ciudades estudiadas. Se pueden utilizar mecanismos como, por ejemplo, mapas de percepción social del riesgo y mapas de riesgo de inundación modelados hidráulicamente, para poder establecer programas ajustados a las prácticas y la idiosincrasia propia de los actores locales.
 - c. Línea de Planificación-Gestión: se busca “integrar” las diversas miradas y análisis que se desarrollan sobre la problemática.
- 2- **Etapla de Implementación Estratégica:** se integra lo producido en la etapa anterior a partir de un Taller de Integración y Planificación Participativa, donde se desarrolla una investigación participativa con finalidad diagnóstica y se define un cuadro planificado de acciones estratégicas. En la preparación de estas acciones deberían participar las diferentes áreas, organismos e instituciones del Estado y la Sociedad que definiéramos anteriormente (ámbitos técnico, político y comunitario relacionados con la problemática). En esto consiste la gestión asociada: una vez acordadas las estrategias y sus respectivas acciones, ya sólo resta implementarlas, porque la participación de todos los actores involucrados garantiza su viabilidad jurídica, económica, financiera, sociopolítica, etc.
- 3- **Etapla de Reformulación y Ajuste:** con cierta periodicidad (seis o nueve meses desde la puesta en marcha del PMDU), se desarrolla un seminario para evaluar el impacto de las

acciones y estrategias implementadas, y ajustar y/o reformular las mismas en función de las nuevas situaciones y contextos.

En el caso de Brasil, la participación pública en este contexto responde al esquema representado en la tabla incluida seguidamente (Avruch Goldenfum, y otros, 2008). Los pasos que se proponen consisten en:

- 1- **Primera fase**, que culmina con la elaboración de una propuesta preliminar. Para llegar a ella hay que dar los siguientes pasos:
 - a. Primera consulta pública: un equipo técnico presenta un análisis de la situación y un diagnóstico preliminar a la sociedad local y se confronta con sus propias percepciones. El resultado es un primer informe parcial que recoge las conclusiones de ese encuentro.
 - b. Reuniones con los principales actores económicos y públicos, para discutir los elementos más relevantes desde su punto de vista.
 - c. Encuentros temáticos para discutir aspectos específicos relacionados con cada una de las estrategias que se pretenden desarrollar.
 - d. Encuentros territoriales para discutir cuestiones locales de zonas concretas de la ciudad.
- 2- **Segunda fase**, que termina con la elaboración de una propuesta final del Plan Maestro. Los pasos que hay que dar hasta llegar ahí son:
 - a. Segunda consulta pública. Se somete a consulta la propuesta preliminar. El resultado es el segundo informe parcial.
 - b. Nuevos encuentros territoriales y temáticos, para evaluar la propuesta preliminar.
- 3- **Tercera fase**, consistente en la elaboración de la propuesta final y su aprobación:
 - a. Conferencia pública final, para presentar y discutir la propuesta final.
 - b. Realizar un documento que constituye una proposición de ley, que tiene que ser discutida y aprobada por el Ayuntamiento.

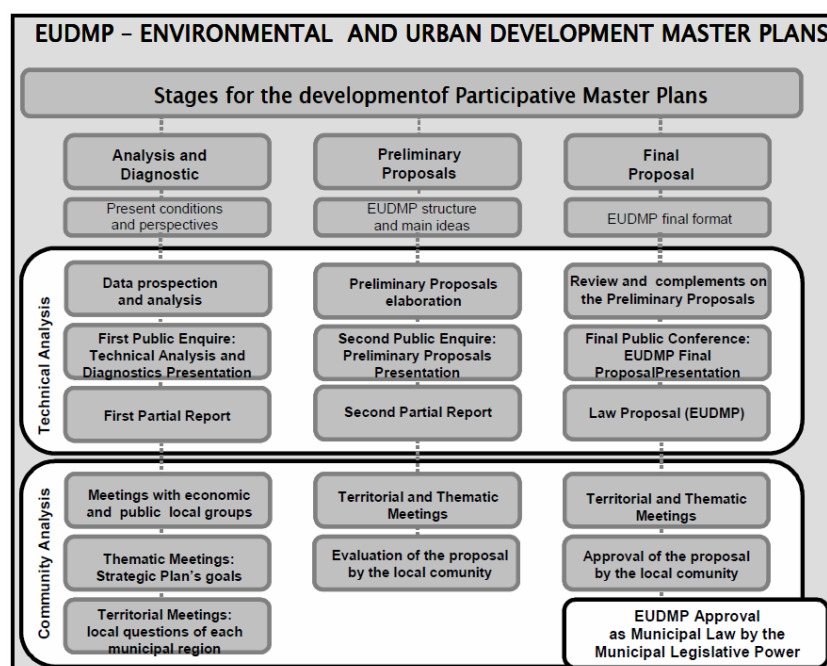


Fig 4.2 Fases planes maestros (Avruch Goldenfum y otros, 2008)

4.2- Otras experiencias educativas y de participación pública.

Muchos planes de gestión de aguas pluviales realizados en países como EE.UU., Australia o Nueva Zelanda incluyen la educación pública y la información como una parte importante del desarrollo de los mismos. Por ejemplo, el proceso de implementación de *infraestructuras* verdes para gestionar las aguas pluviales, en la ciudad de Milwaukee, USA (The Civic Federation, 2007); o la gestión de las aguas pluviales en Auckland, Nueva Zelanda (Auckland City Council, 2006).

Norfolk: A modo de ejemplo, se puede explicar la experiencia desarrollada en Norfolk, ciudad de unos 250.000 habitantes del Estado de Virginia, USA. En el contexto de las distintas actuaciones encaminadas a reducir la contaminación producida por las aguas pluviales, en los primeros años de la década de los noventa esta ciudad llevó a cabo un programa de educación pública e información (PE&I). El objetivo era que la ciudadanía entendiese la importancia de reducir la contaminación asociada a las aguas pluviales y se concienciase de la necesidad de contribuir económicamente y con nuevos hábitos a esta reducción (Gray, 1995).

La primera fase de este programa consistió en la realización de varias encuestas sobre los hábitos de la población en relación con los contaminantes más frecuentes de las aguas pluviales, sobre el conocimiento de los sistemas de drenaje existente o sobre la necesidad de gestionar las aguas pluviales; el objetivo era conocer la situación de partida para desarrollar el programa.

A partir de aquí, primeramente se centraron en explicar por qué se había introducido una nueva tasa destinada a la gestión de las aguas pluviales y qué beneficios producía sobre la contaminación y

sobre el control de inundaciones. Posteriormente, el programa se enfocó hacia la prevención de la contaminación, incidiendo en los tipos de fertilizantes o en el cuidado del césped.

Además de la encuesta inicial, el grueso de la campaña se hizo a través del recibo del agua. También se elaboraron folletos, posters para los colegios, lápices, imanes, bolsas de basura, pegatinas, etc. y se realizaron numerosas presentaciones explicativas, un programa educativo para los niños y se colocaron letreros sobre el drenaje de las pluviales. Los mensajes iban encaminados a explicar el concepto de aguas pluviales, a prevenir la contaminación y a alentar la denuncia de actividades contaminantes (Gray, 1995).

Francia: Otra experiencia interesante, aunque en un ámbito mucho más general que la gestión de las aguas pluviales, es la desarrollada en Francia en 2008. Ese año, el Gobierno francés organizó un gran debate nacional sobre el medio ambiente, llamado “Grenelle del Medio Ambiente”, que reunió a todas las partes involucradas. El debate tomó la forma de un diálogo entre 5 partes (Estado, autoridades locales, asociaciones, sindicatos de asalariados, patronato) como para los “Acuerdos de Grenelle” que habían puesto fin a las huelgas de 1968. 8 Grupos de Trabajo fueron creados y presentaron propuestas. A continuación, consultas nacionales y regionales permitieron recoger las observaciones de los ciudadanos y de los actores locales. Después de arbitrajes interministeriales en el Gobierno, se elaboraron dos proyectos de leyes, que ya han sido aprobadas:

- 1- La Ley de programación relativa a la aplicación del Grenelle del Medio Ambiente, llamada “Ley Grenelle I”;
- 2- La Ley que concierne al compromiso nacional para el medio ambiente, llamada “Ley Grenelle II”.

Estas leyes, incluyen, en particular, disposiciones sobre la gestión del agua pluvial relativas al desarrollo de la recuperación y reutilización de las aguas pluviales.

- CAPÍTULO 5 -

LA GESTIÓN DE LAS AGUAS PLUVIALES DESDE UNA PERSPECTIVA LEGAL Y NORMATIVA

1- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA: ELEMENTOS CLAVE QUE HABRÍA QUE LEGISLAR.

El objetivo de este capítulo es ofrecer una panorámica general sobre el estado de la legislación en relación con la gestión de las aguas de lluvia en ámbitos urbanos, analizando sus principales déficits e indicando aquellos aspectos que no están legislados y que en nuestra opinión sí deberían estarlo.

Como ha quedado patente en diversas partes del trabajo, dos son los frentes más importantes para luchar contra este problema en ámbitos urbanos:

- 1- Recoger las aguas pluviales para que su traslado hacia los cauces existentes sea de un modo ordenado y controlado.
- 2- Disminuir la escorrentía generada por las aguas pluviales.

Las herramientas legislativas asociadas a estas dos opciones deberían encontrarse dentro de normas de carácter sectorial: legislación en materia de aguas, edificación, construcción, etc.; o dentro de normas de carácter más general, asociadas al ámbito de la ordenación del territorio.

Por lo tanto, hemos estudiado la legislación existente en estos dos frentes. Lo esperable de este análisis de la legislación vigente sería que los responsables de la gestión de las aguas pluviales tuviesen a su disposición herramientas jurídicas completas y coherentes para que los daños y los riesgos asociados a las aguas pluviales pudieran reducirse. Sin embargo, tal y como veremos a continuación, sobre este tema apenas se ha legislado y en los pocos casos en los que se ha hecho no se han establecido criterios claros y homogéneos. Esto ha supuesto en algunas situaciones que, a pesar de existir voluntad política y social de resolver los problemas derivados de una mala gestión de las aguas pluviales, las soluciones propuestas por distintas administraciones hayan sido erráticas, divergentes e, incluso, contraproducentes.

Al analizar una cuestión tan compleja como la gestión de las aguas pluviales, por los distintos ámbitos y actividades sobre las que tiene repercusiones, también hay que destacar la diversidad de administraciones competentes. Por aclarar el tema, y sin ánimo de ser exhaustivos, se incluye una tabla en la que se indica la administración competente en los distintos aspectos que pueden tener una relación más o menos directa con la gestión de las aguas pluviales.

ADMINISTRACIÓN	NORMA	ORGANISMO	MATERIA
<ul style="list-style-type: none"> ESTADO 	Art. 149 CE TRLA	CONFEDERACIONES	DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO EN CUENCAS INTERCOMUNITARIAS OBRAS DE INTERÉS GENERAL O QUE AFECTEN A MÁS DE UNA C.A. COSTAS
<ul style="list-style-type: none"> COMUNIDAD AUTÓNOMA 	Art. 148 CE TRLA ESTATUTOS	CONSEJERÍAS	DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO EN CUENCAS INTRACOMUNITARIAS OBRAS Y SERVICIOS DE INTERÉS DE LA C.A. MEDIO AMBIENTE URBANISMO Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO PESCA DEPORTE, OCIO Y TURISMO AGRICULTURA Y GANADERÍA MONTES SANIDAD A. MINERALES Y TERMALES
<ul style="list-style-type: none"> AYUNTAMIENTOS 	LBRL (Ley de Bases de Régimen Local)	CONCEJALÍAS	URBANISMO ABASTECIMIENTO SANEAMIENTO RECOGIDA DE BASURAS

Figura 5.1 Administración competentes en relación con las aguas pluviales. Elaboración propia.

2- LEGISLACIÓN RELATIVA A LA ORDENACIÓN DEL TERRITORIO.

Como se ha dejado patente en distintos apartados de este trabajo, en mayor o menor medida, toda urbanización supone impermeabilizar el territorio y ello es el motivo principal de las cada vez más frecuentes inundaciones urbanas (Cabrera, 2008). En este sentido, los objetivos de la gestión de aguas pluviales y el desarrollo urbano a menudo están en conflicto. La urbanización modifica la hidrología de las cuencas, aumenta la escorrentía de aguas pluviales y los impactos de la calidad de las aguas receptoras (Pristel, 2011).

Por lo tanto, la ordenación del territorio es quizás el ámbito legislativo más adecuado para establecer una regulación general que incida en la minimización de los problemas generados por las aguas pluviales y en marcar unas líneas generales de actuación en este campo en función de las características propias de cada territorio afectado.

En este sentido, en la tabla que se muestra a continuación se puede observar cómo las aguas pluviales pueden generar problemas en cualquier parte del territorio y asociadas a cualquier actividad de índole económica (Ruza Rodríguez, 2011).

Sin embargo, no existe un marco normativo claro que legisle estos aspectos. Tal y como veremos a continuación, esa regulación general es prácticamente inexistente y del análisis de ejemplos concretos se desprende que no existen directrices claras ni en ámbitos territoriales tales como Galicia, donde los problemas generados por las pluviales son considerables y la preocupación por resolverlos se ha puesto de manifiesto a través de numerosas iniciativas destacadas en este trabajo.

Tipos de aguas pluviales			
Origen de agua	Zona de escurrimiento	Descripción	
1. En tiempo seco Relacionados con actividades urbanas e industriales	Zona urbana	Lavado de la red viaria urbana	
	Zona industrial	Lavado de superficies industriales (E): zonas de carga y descarga al aire libre.	
	Zonas agrarias	Mezcla de aguas pluviales y retornos de aguas de riego	
2. En tiempo lluvioso Relacionados con aguas pluviales	Zonas de uso de suelo natural	Escorrentía natural. No tiene la consideración de vertido	
	Zonas agrarias (secano y regadío)	Contaminación difusa. Programas de acción y Códigos de buenas prácticas agrarias. Directiva 91/676/CEE y RD 261/96	
	Zonas urbanas	Alivios de exceso de caudales de sistemas unitarios	Descarga de Sistemas Unitarios (DSU). Alivios del sistema colector, alivios de entrada a planta.
			Alivio intermedio de la EDAR (tras tratamiento primario)
		Vertidos de sistemas separativos	Desagüe de aguas de escorrentía pluvial de casco urbano
	Zonas industriales	Vertidos de sistemas separativos	Desagüe de aguas de escorrentía pluvial de industrias y polígonos industriales
		Drenajes	Drenaje natural de suelos contaminados y minas cerradas
	Otras zonas	Vertido de aguas de escorrentía relativos a movimiento de tierras	Minería a cielo abierto (E): canteras, cortas)
			Vertedero o depósito de tierras (E): minería, construcción de infraestructuras)
			Gran movimiento de tierras durante la construcción de infraestructuras
			Drenaje de túneles en construcción
	Otras zonas	Otros vertidos de aguas de escorrentía	Cunetas de vías de comunicación en explotación
			Episodios agudos que causan daño: • Carretera: adición de sal antihielo • Ferrocarril: adición de herbicidas al balasto del ferrocarril

Figura 5.2. Tipos de aguas pluviales (Ruza Rodríguez, 2011)

Situación legislativa en España: Debido al complicado marco de distribución de competencias existente en España, en la actualidad hay diecisiete legislaciones autonómicas en materia de urbanismo y ordenación del territorio, que tienen por objeto la regulación de los instrumentos y procedimientos necesarios para el ejercicio de sus competencias autonómicas en esta materia.

En general, la mayoría de las legislaciones autonómicas establecen una estructura de planificación similar a la prevista tradicionalmente por la anterior legislación estatal, que distinguía tres niveles de

planeamiento urbanístico. Estos niveles son: de coordinación o territorial, regulador o general y de actuación o parcial (Esteban i Noguera, 1981).

En relación con la gestión de las aguas pluviales en ámbitos urbanos, es el nivel de coordinación en donde se deberían de establecer los criterios más generales para intentar minimizar el impacto de las aguas pluviales para posteriormente concretarlos en el nivel regulador a cada caso concreto. Así, una gestión efectiva de las aguas de escorrentía tiene que estar respaldada por un planeamiento regional o a nivel de cuenca hidrográfica, mezclando controles en origen y controles aguas abajo (Beneyto González-Baylín, 2004). Sin embargo, estas cuestiones apenas tienen relevancia en los instrumentos jurídicos que existen en este nivel.

En este sentido, a modo de ejemplo se analiza con un poco más de detalle la legislación existente en Galicia, por ser un ámbito territorial especialmente afectado por problemas asociados a la gestión de las aguas pluviales.

Directrices de Ordenación del Territorio de Galicia: En la Comunidad Autónoma de Galicia, el nivel de coordinación se desarrolla a través de la Ley 10/1995, de 23 de noviembre, de ordenación del territorio de Galicia. Esta Ley tiene como **finalidad** establecer los objetivos fundamentales y crear los instrumentos necesarios para la coordinación de la política territorial y la ordenación del espacio de la Comunidad Autónoma de Galicia, al objeto de favorecer la utilización racional del territorio gallego y proteger el medio natural, mejorar la calidad de vida y contribuir al equilibrio territorial. Según esta ley, la **ordenación territorial de Galicia** se realizará a través de varios **instrumentos**, siendo el más relevante y en donde se deberían de regular aspectos relacionados con la gestión de las aguas pluviales las Directrices de Ordenación del Territorio (DOT).

En este sentido, recientemente se han desarrollado las Directrices de Ordenación de Galicia, aprobadas definitivamente a través del Decreto autonómico 19/2011, de 10 de febrero. En ellas se incluyen determinaciones a las que deben ajustarse las distintas administraciones y, entre estas, se incluyen varias referencias a la gestión de las aguas pluviales que se encuentran en los apartados 4.8.9 y 4.8.11, recogidos a continuación:

4.8.9 No se podrán ejecutar nuevos desarrollos residenciales, industriales o comerciales, dotaciones, o explotaciones agroforestales o mineras si no está previamente garantizado el abastecimiento de agua y el saneamiento de aguas residuales y la gestión de las aguas pluviales (TDUS) conforme a criterios de sostenibilidad y a la planificación hidrológica.

4.8.11 Cualquier nuevo desarrollo residencial, industrial o terciario preverá obligatoriamente dos redes de evacuación de aguas, separadas e independientes, para aguas pluviales y para aguas residuales. Se incluirán las TDUS (técnicas de drenaje urbano

sostenible) precisas para garantizar de un modo cualitativo y cuantitativo la vuelta del agua pluvial al medio receptor.

A la vista de estas determinaciones, es **muy relevante la introducción de las técnicas de drenaje urbano sostenible** en relación con la gestión de las aguas pluviales. En esta misma línea, en la memoria de las propias directrices se indica:

Las rías, ámbito propio y específico de Galicia, deben ser objeto de especial protección y deben desarrollarse las actuaciones de saneamiento precisas, diseñadas con las técnicas de drenaje urbano sostenible, teniendo en cuenta la capacidad del medio receptor y optimizando la gestión de los caudales y de la contaminación proveniente de las aguas de escorrentía, con el objetivo de alcanzar el buen estado ecológico de las masas de agua para el año 2015.

Por otro lado, también es **importante la decisión de adoptar sistemas de tratamiento separativos en los nuevos desarrollos de carácter urbanístico que se lleven a cabo**. Sin embargo, esta cuestión puede entrar en contradicción con otras normas legales; por ejemplo, con lo dispuesto por el Plan Hidrológico de Cuenca de la Demarcación Hidrográfica Galicia – Costa (PHCDHGC), que aunque ya ha sido aprobado por el Consello de la Xunta de Galicia, aún no ha sido aprobado por el Gobierno a través del Real Decreto estipulado por la Ley de Aguas. En este sentido, el PHCDHGC **admite la posibilidad de redes unitarias en nuevos desarrollos urbanos** y, así, indica en el art. 52.2 de su parte normativa que *los proyectos de nuevos desarrollos urbanos deberán justificar la conveniencia de establecer preferentemente redes de saneamiento separativas o unitarias para aguas residuales y aguas de escorrentía pluvial*. En cualquier caso, resulta cuanto menos decepcionante ver que en pleno siglo XXI el nivel de discusión entre red separativa y unitaria es el mismo que a finales del XIX, cuando se planteó por primera vez esta disyuntiva (Burian, y otros, 1999).

En todo caso, en todo este contexto normativo es destacable la ausencia de consideraciones relativas a cómo evitar los graves problemas que están generando las aguas pluviales en ámbitos urbanos, tales como la impermeabilización de superficies originada por estos nuevos desarrollos urbanísticos o consideraciones relativas a la necesidad de gestionar las aguas pluviales en la propia zona en donde se generan, sin arrastrar el problema a otras áreas.

3- LEGISLACIÓN EN MATERIA DE CANTIDAD Y CALIDAD DE AGUAS RELACIONADA CON LA GESTIÓN DE LAS AGUAS PLUVIALES.

Este tipo de legislación se centra en buscar instrumentos jurídicos adecuados para la gestión de los problemas derivados de una humanización excesiva del ciclo hidrológico, sin poner coto a esa desmesurada antropización.

Con respecto a la cantidad, sus principales y riesgos y los principios de su gestión se establecen en la Directiva 200/60/CE relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación. Se trata de una directiva que no está pensada específicamente para ámbitos urbanos. De hecho, en la propia definición de inundación recogida en el RD 903/2010, que transpone en España la Directiva, se ha eliminado cualquier referencia a las redes de alcantarillado. Sin embargo, las conclusiones de los estudios desarrollados pueden resultar de interés a la hora de gestionar las aguas pluviales en ámbitos urbanos. Por este motivo, se incluye un análisis de esta Directiva en el Anejo 2.

Por otro lado, con respecto a la legislación relacionada con la cantidad de agua, también es de destacar la Directriz básica de planificación de protección civil ante el riesgo de inundaciones (se analiza con detalle en el Anejo 3), que aunque tampoco está pensada específicamente para ámbitos urbanos, sí es importante tenerla en cuenta en la gestión de las aguas pluviales.

Con respecto a la legislación relativa a la calidad de aguas, la incidencia humana sobre éstas se ejerce fundamentalmente a través del vertido a sistemas naturales de efluentes residuales. Así, se hace necesario analizar los criterios de calidad que exige la legislación a las aguas residuales antes de ser evacuadas en un sistema receptor y, en concreto, qué tratamiento específico le da la legislación a los vertidos asociados a las aguas pluviales, que tienen un carácter temporal y un caudal difícilmente controlable. Aunque este análisis se centra habitualmente en la contaminación puntual provocada por las descargas de los sistemas de saneamiento durante los episodios de lluvia, no hay que olvidar que las aguas pluviales son las responsables últimas de la contaminación de las aguas pueda ser también a través de fuentes dispersas (focos de contaminación numerosos y próximos geográficamente) o difusas (la carga contaminante se reparte uniformemente de manera continua a lo largo de una extensión de terreno).

Sin embargo, un marco normativo que sólo tuviese en consideración los criterios de calidad de los vertidos resultaría insuficiente como garantía de conservación de los recursos hídricos. El objetivo de la legislación en este tema tiene que ir un paso más allá, garantizando que los recursos hídricos se mantengan en condiciones tales que aseguren su disponibilidad en un futuro en cantidad y calidad adecuada. Esta garantía viene dada por el mantenimiento de las condiciones ambientales naturales que permitan preservar el equilibrio autorregulador de los ecosistemas acuáticos. De aquí surge la necesidad de definir un nuevo concepto de calidad que tenga como punto de referencia el propio recurso en sí mismo. Por todo ello, en los últimos años, y desde luego desde la entrada en vigor de la Directiva Marco del Agua (DMA), Directiva 2000/60/CEE, la legislación existente, tal y como veremos, no sólo incide en el control de la contaminación *per se* sino en el estado ecológico de las masas de agua sobre las que esa contaminación impacta.

Por último, este análisis normativo no estaría completo si no se hiciese referencia a la legislación que tiene como fin asegurar que el agua tenga una calidad suficiente para garantizar determinados usos, sin recoger los efectos y consecuencias que la actividad humana tiene sobre las aguas naturales. Este tipo de normativa entiende la calidad como el conjunto de características físicas, químicas y biológicas que hacen que el agua sea apropiada para un uso determinado. En relación con la gestión de las pluviales, los requisitos establecidos por estas directivas sobre la calidad de las aguas en los cursos bajos de los ríos pueden condicionar los límites de vertido aguas arriba (Suárez, y otros, xxx).

3.1- Situación legislativa a nivel europeo. Marco legislativo general.

A nivel europeo, existen diversas directivas que, en mayor o menor medida, condicionan la gestión de las aguas pluviales, desde la Directiva 2000/60/CE, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas (Directiva Marco del Agua, DMA), hasta distintas directivas de los años ochenta y noventa orientadas a regular los vertidos o los distintos usos del agua. En todo caso, en todas ellas, las aguas pluviales nunca son la cuestión principal; no hay ninguna directiva centrada en las aguas pluviales, sino que éstas siempre se tratan de forma tangencial o, incluso, ni se mencionan aunque los preceptos recogidos en esas directivas conlleven importantes restricciones en la gestión de las aguas pluviales.

En el Anejo 2 se analizan las principales directivas relacionadas directa o indirectamente con las aguas pluviales. Todas ellas, con más o menos precisión, han sido incorporadas a nuestro ordenamiento jurídico.

3.2- La situación normativa a nivel nacional.

3.2.1- La Ley de Aguas y sus reglamentos en relación con las aguas pluviales.

En este contexto, la referencia normativa básica en relación con la gestión de las aguas pluviales es el Texto Refundido de la Ley de Aguas (TRLA), aprobado a través del Real Decreto Legislativo 1/2001, y los Reglamentos que lo desarrollan. Este marco normativo básico recoge las principales líneas de la gestión histórica de las aguas en España, matizada en los últimos años con la incorporación del contenido de las principales directivas analizadas anteriormente. Las restantes directivas han sido traspuestas también a nuestro ordenamiento jurídico a través de distintas leyes y decretos, que no estudiaremos por haberlas analizado ya a nivel europeo.

Aunque las referencias a la gestión de las aguas pluviales son muy escasas, analizaremos los dos principales tipos de disposiciones que pueden tener repercusión en este ámbito: las relacionadas con los vertidos y las relacionadas con la planificación hidrológica.

Marco Normativo de referencia en relación con los vertidos:
Real Decreto Legislativo 1/2001 Texto Refundido de la Ley de Aguas: – Título V: De la Protección del Dominio Público Hidráulico y de la Calidad de las Aguas Continentales; Capítulo II: <i>De los vertidos</i> . (Art. 100 a 108) – Título VI: Del Régimen Económico-Financiero de la Utilización del Dominio Público Hidráulico. <i>Canon de control de vertido</i> (Art. 113)

- Título VII: De las *Infracciones y Sanciones* y la competencia de los Tribunales. (Art. 116 a 121)
- Real Decreto 849/1986 Reglamento del Dominio Público Hidráulico modificado por Real Decreto 606/2003:**
- Título III De la Protección del Dominio Público Hidráulico y de la Calidad de las Aguas Continentales; Capítulo II: *De los vertidos* (Art. 245 a 271)
- Título IV; Capítulo II: Canon control vertido. (Art. 289 a 295) Anexo al Título IV
- Título V; Capítulo Primero Infracciones y Sanciones (Art. 314 a 340)

Marco Normativo de referencia en relación con la planificación:

- Real Decreto Legislativo 1/2001 Texto Refundido de la Ley de Aguas:**
- Título III: De la Planificación Hidrológica.
- Real Decreto 907/2007 Reglamento de la Planificación Hidrológica:**
- Título I Contenido de los Planes

La legislación de aguas en relación con los vertidos: En relación con los vertidos, en la legislación de aguas hay que destacar en primer lugar el artículo 97 TRLA, donde se prohíbe, con carácter general, toda actividad susceptible de provocar la contaminación o degradación del dominio público hidráulico. Además, el TRLA establece la obligatoriedad de solicitar la oportuna autorización administrativa (*autorización de vertido*) para la realización de cualquier vertido de aguas y de productos residuales susceptibles de contaminar las aguas continentales, autorización ésta que llevará implícito el pago de un *canon de vertido*, en correspondencia con el espíritu de la Ley de que quien contamine pague. No obstante, hay que precisar que la Autorización de vertido no ampara ni legaliza la contaminación, sino que debe ofrecer las garantías necesarias para que la contaminación no se produzca, y que el canon de vertido no da derecho a la contaminación, sino que debe servir para atender las inversiones necesarias para evitar dicha contaminación (Ruza, 2011).

La autorización de vertido: La autorización de vertido tendrá como objeto la consecución de los objetivos medioambientales establecidos. Dichas autorizaciones se otorgarán teniendo en cuenta las **mejores técnicas disponibles** y de acuerdo con las **normas de calidad ambiental** y los **límites de emisión** fijados reglamentariamente. Los vertidos pueden ser de dos tipos: directos o indirectos (González Martínez, 2005). Con respecto a la competencia para otorgar estas autorizaciones, en las cuencas intercomunitarias es de la Administración Central la competencia para autorizar vertidos directos al dominio público hidráulico y los vertidos directos e indirectos a las aguas subterráneas, y en las cuencas intracomunitarias, de las Comunidades Autónomas.

Además, también es de las Comunidades Autónomas la competencia para autorizar los vertidos de tierra a mar y de los entes locales la competencia para autorizar los vertidos indirectos a aguas superficiales a través del alcantarillado

<u>TIPO DE VERTIDO</u>	DESTINO	<u>ÓRGANO COMPETENTE</u>	
		<u>Cuencas intercomunitarias (p. ej. la C.H. del Segura)</u>	<u>cuencas intracomunitarias</u>
<u>DIRECTO</u>	<u>aguas superficiales (cauces, canales de riego, subterráneas, etc.) o cualquier otro elemento del DPH</u>	<u>Organismos de Cuenca</u>	<u>Órganos Autonómicos</u>
	<u>aguas subterráneas</u>	<u>Organismos de Cuenca</u>	<u>Órganos Autonómicos</u>
<u>INDIRECTO</u>	<u>aguas superficiales (canales de desagüe, redes de colectores de aguas residuales o pluviales)</u>	<u>Órganos Autonómicos o Locales</u>	<u>Órganos Autonómicos o Locales</u>
	<u>aguas subterráneas</u>	<u>Organismos de Cuenca</u>	<u>Órganos Autonómicos</u>
<u>TODOS</u>	aguas costeras y de transición (dominio-público marítimo-terrestre)	<u>Órganos Autonómicos</u>	<u>Órganos Autonómicos</u>

urbano.

La presentación de la declaración de vertido junto con la solicitud por parte del responsable de la actividad causante del vertido, inicia el procedimiento de autorización de vertido. Las condiciones que se imponen en la autorización de vertido se indican en los artículos 246 y 251 del Reglamento de Dominio Público Hidráulico y se desarrollan a través de la "ORDEN MAM/1873/2004, de 2 de junio, por la que se aprueban los modelos oficiales para la declaración de vertido y se desarrollan determinados aspectos relativos a la autorización de vertido y liquidación del canon de control de vertidos regulados en el Real Decreto 606/2003, de 23 de mayo, de reforma del Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento de Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los Títulos preliminar, I, IV, V, VI Y VII de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas".

Aunque el listado de la documentación exigida es amplio, es inadecuado para la gestión de las aguas pluviales y, más concretamente, para las descargas de los sistemas unitarios, no existiendo criterios específicos para las condiciones de vertido desde un aliviadero(Ruza, 2011).

El Canon de control de vertidos: Se regula en el art. 113 TRLA, donde se establece que los vertidos al DPH están gravados con una tasa destinada al estudio, control, protección y mejora del medio receptor de cada cuenca hidrográfica, denominada canon de control de vertidos, y son sujetos pasivos del mismo quienes lleven a cabo el vertido. El canon de control de vertidos es independiente de los cánones y tasas que puedan establecer las CC.AA. o las corporaciones locales para financiar obras de saneamiento y depuración, por tanto no podrá destinarse a financiar este tipo de obras.

Este canon se aplicará tanto a los vertidos autorizados como a los no autorizados, con independencia de la sanción que corresponda por vertido no autorizado. Esto es así porque el hecho imponible del canon de control de vertidos es la realización de vertidos al dominio público hidráulico. El importe del canon viene determinado por el producto del volumen de vertido autorizado por el precio unitario de control de vertido, calculándose este último multiplicando el precio básico por metro cúbico por un coeficiente de mayoración o minoración. Todos estos aspectos se encuentran desarrollados en el Capítulo II del RDPH, arts. 289 a 295, y en su Anexo IV en lo relativo al cálculo del coeficiente de mayoración o minoración. El importe de este canon se tiene que concretar en el condicionado de las autorizaciones de vertido, tal y como indica el artículo 251.1 RDPH.

Al igual que el procedimiento existente para autorizar un vertido, el canon de control de vertidos no tiene una estructura adecuada para gravar los vertidos derivados de la gestión de las aguas pluviales. En estos casos, aunque el canon depende del volumen autorizado, no del realmente vertido, la imposibilidad de estimar adecuadamente los volúmenes en la autorización de vertido hace imposible poder fijar un canon de control de vertido ajustado a las aguas pluviales. Además, los coeficientes de mayoración y minoración dependen de factores asociados a la naturaleza y características del vertido,

al grado de contaminación del vertido y a la calidad ambiental del medio receptor, factores que son difícilmente cuantificables para las aguas pluviales.

En la siguiente tabla (Ruza, 2011) se muestra, para las distintas Confederaciones Hidrográficas, cuál es la práctica habitual, en relación con las aguas pluviales, con respecto a la exigencia o no de autorización de vertido y al cálculo del canon de vertido.

Confederación Hidrográfica	AV aguas escorrentía pluvial	Tipo autorización	Modelo autorización	CCV	Observaciones
Norte	Sí	Aguas pluviales limpias	En preparación	NO	Se autoriza para: canteras, desguaces, gasolineras, centros comerciales Para aguas pluviales limpias se requiere punto de control de vertido
Duero	Sí	Aguas pluviales "limpias"	Modelo de declaración simplificado de pluviales limpias	NO	
	NO	Aguas pluviales "sucias"	Mismo modelo de resolución que para el resto de aguas residuales	Sí	Tienen la misma consideración que cualquier tipo de aguas residuales
	NO	Aguas pluviales no contaminadas	NO	NO	No se incluye en la autorización. A veces se cita que serán evacuadas sin pasar por las instalaciones de depuración
Ebro	Sí	Aguas pluviales contaminadas	Mismo modelo de resolución que para el resto de aguas residuales	Sí Se calcula como vertido industrial	De forma general, los parámetros se suelen limitar y los valores límite de emisión son: MES (80mg/l), aceites y grasas, hidrocarburos (se suele indicar exento, sobre todo si va a haber infiltración, indicando una tolerancia para muestras puntuales de 5mg/l. Si va directo a cauce es mayor el límite). Sobre todo, se da este tipo de vertido en: canteras, desguaces, gasolineras y en general actividades donde haya sustancias que puedan ser arrastradas por estar a la intemperie. El tratamiento adecuado suele consistir en decantación y separador de hidrocarburos dotado de placas coalescentes.
Tajo	NO	Aguas pluviales no contaminadas	NO	NO	Se trata el vertido de pluviales con la finalidad de otorgar autorizaciones de obra para la adecuación del cauce en la zona de vertido de aguas pluviales
	Sí	Aguas pluviales contaminadas	Sí	NO	
Júcar	NO	Los vertidos de aguas pluviales, si no se utilizan en ninguna actividad de la empresa, no se consideran vertidos de aguas residuales	NO	NO	Sólo en el caso de las estaciones de servicio, si se tiene en cuenta la escorrentía susceptible de arrastrar hidrocarburos procedentes de la zona de llenado de depósitos.
Guadiana	-	-	No hay modelo genérico de resolución, depende de lo que venga recogido en la declaración de vertido y en el proyecto presentado por el peticionario	-	-
Guadalquivir	-	-	-	-	-
Segura	-	-	-	-	-

Tabla 5.3. Exigencia de autorización de vertido y canon de vertido en las Confederaciones Hidrográficas (Ruza, 2011)

La legislación de aguas en relación con la planificación: La planificación hidrológica es el instrumento básico en la regulación de los aprovechamientos hidráulicos. A través de los planes hidrológicos, tradicionalmente se determinan los poderes que tiene la administración para disponer de las aguas y los derechos de los beneficiarios (Pérez Pérez, 1991). Sin embargo, la incorporación a nuestro ordenamiento jurídico de la DMA, añade al enfoque tradicional de satisfacción de la demanda, un nuevo objetivo: alcanzar el buen estado ecológico en todas las masas de agua.

El TRLA prevé que la planificación hidrológica se realice a través de tres tipos de planes: el Plan Hidrológico Nacional, los planes hidrológicos de cuencas intercomunitarias y los planes de cuencas intracomunitarias.

Como es obvio, la consecución de los objetivos de la planificación hidrológica está muy ligada a una adecuada gestión de las aguas pluviales, que puede condicionar el estado ecológico de cualquier masa de agua. Por ello, todos los planes hidrológicos tendrían que analizar con detalle la repercusión de las aguas pluviales en la gestión de toda la cuenca y en los riesgos de no alcanzar los objetivos del

propio plan. Sin embargo, tal y como veremos a continuación, no hay ninguna disposición específica relacionada con este tema ni en la Ley ni en el Reglamento de la planificación hidrológica, y son muy pocos los preceptos que hacen alguna referencia a las aguas pluviales.

El reglamento de la Planificación Hidrológica, aprobado a través del RD 907/2007: Como ya se ha indicado, este Reglamento es muy poco explícito con respecto a los sistemas de saneamiento en tiempo de lluvia y a los problemas que, en general, acarrea una mala gestión de las aguas pluviales.

En este sentido, tan solo se puede citar:

- 1- El artículo 52 de “Medidas para prevenir o reducir las repercusiones de los episodios de contaminación accidental”. En el primer apartado de este artículo se indica que *se adoptarán las medidas para prevenir o reducir los efectos de las contaminaciones accidentales, causadas por la industria, por instalaciones ganaderas, por los tanques de aguas pluviales de las depuradoras urbanas y otras. Estas medidas incluirán el uso de sistemas automáticos para detectar esos fenómenos o alertar sobre ellos.*
- 2- El artículo 4, donde se establece el “Contenido obligatorio de los planes hidrológicos de cuenca”. Aquí se exige, entre otras cosas, la presentación de un *resumen de las medidas tomadas para prevenir o reducir las repercusiones de los incidentes de contaminación accidental*, en donde se podría entender que están incluidos los ocasionales provocados en el ámbito de la gestión de las aguas pluviales.
- 3- En el artículo 44 se presenta como una de las “medidas básicas” la prevención o reducción de las repercusiones de los episodios de contaminación accidental.
- 4- En el artículo 15, *Presiones sobre las masas de agua superficial*, se indica que *en cada demarcación hidrográfica se recopilará y mantendrá el inventario sobre el tipo y la magnitud de las presiones antropogénicas significativas a las que están expuestas las masas de agua superficial y esta información incluirá entre otras la estimación e identificación de la contaminación significativa originada por fuentes difusas, producida especialmente por las sustancias enumeradas en el anexo II del Reglamento de Dominio Público Hidráulico, procedentes de instalaciones y actividades urbanas, industriales, tales como zonas mineras, suelos contaminados o vías de transporte.*

El contenido de los Planes Hidrológicos de Cuenca: Para completar el análisis de la relación entre la planificación hidrológica y la gestión de las aguas pluviales, es interesante analizar las principales prescripciones relacionadas con las aguas de lluvia que aparecen en algunos de los Planes Hidrológicos de Cuenca actualmente vigentes (Ruza, 2011).

- Plan Hidrológico Norte

- Vertidos líquidos urbanos y mixtos:

- Alcantarillado: tiene que tener capacidad suficiente para evacuar el máximo aguacero de frecuencia quinquenal y de tiempo de concentración igual al de la red.
- No se admiten en la red aguas pluviales producidas fuera del casco urbano.
- La capacidad de los colectores aguas debajo de los aliviaderos de crecida tiene que ser, al menos, de 20 l/s por cada 1.000 h-eq.
- Los aliviaderos de crecida limitarán la salida de sólidos (>10mm) y sustancias de las relaciones I y II del RDPH, grasas y aceites.
- Para núcleos <500 hab, las aguas pluviales no mezcladas con aguas residuales pueden ser vertidas al cauce directamente.
- Vertidos líquidos industriales:
 - No se admiten aliviaderos de crecida en líneas de recogida y depuración o pretratamiento de aguas con sustancias de las Relación I y II del RDPH (en adelante S.R. I-II) ni de aguas de proceso sin SR I-II, aguas residuales y aguas de lluvia de zonas de trabajo.
 - No se admiten en las redes aguas pluviales producidas fuera de los terrenos propios.

- **Plan Hidrológico Tajo:**

- Saneamiento y depuración de aguas residuales:
 - Los nuevos desarrollos urbanísticos deberán establecer preferentemente redes separativas.
 - Alcantarillado: deberán tener capacidad suficiente para evacuar el máximo aguacero de frecuencia quinquenal y tiempo de concentración igual al de la red.
 - Los aliviaderos de crecida limitarán la salida de sólidos.
 - El alivio solo se permite si la dilución respecto a tiempo seco es, como mínimo, de 1:5. Si se supera, se admite de forma provisional y mediante autorización expresa, pero hay que realizar la comprobación previa de que otras alternativas técnicamente posibles no son razonables y que los daños al dominio público son admisibles. La exigencia habitual en estos casos es 1:10.
- Vertidos líquidos puntuales: No se admiten aliviaderos de crecida en líneas de recogida y depuración o pretratamiento de aguas con sustancias de las Relación I y II del RDPH ni de aguas de proceso sin SR I-II, aguas residuales y aguas de lluvia de zonas de trabajo

- **Plan Hidrológico Júcar:** Todo vertido urbano se debe recoger en colectores de alcantarillado, a ser posible separativo

- **Plan Hidrológico Guadiana:** Caudal máximo de entrada a EDAR en episodios de lluvia a definir por el organismo de cuenca. A falta de estudios 3 a 6 veces el caudal medio.

3.2.2- El R.D. 1620/2007 por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas.

La reutilización de las aguas residuales procedentes de otros usos para satisfacer posteriores demandas antes de ser vertidas a los ríos o al mar, constituye un moderno sistema de utilización de los recursos hídricos de un territorio, especialmente adecuado en zonas con problemas de escasez.

Según el RD 1620/2007, la reutilización de las aguas se define como la aplicación, antes de su devolución al dominio público hidráulico y al marítimo terrestre para un nuevo uso privativo, de las aguas que, habiendo sido utilizadas por quien las derivó, se han sometido al proceso o procesos de depuración establecidos en la correspondiente autorización de vertido y a los necesarios para alcanzar la calidad requerida en función de los usos a que se van a destinar (MMAMRM, 2010).

Siguiendo esta filosofía, la utilización de las aguas pluviales también comienza a considerarse dentro de la gestión del recurso hídrico. En la actualidad no existe un marco legislativo para estas aguas, ya que el RD 1620/2007 no es aplicable a las aguas de escorrentía urbana. Sin embargo, esta normativa subsidiaria marca una dirección hacia la que se debe tender para poder aprovechar la potencialidad de esta fuente alternativa de suministro (Puertas Agudo, y otros, 2008).

3.3- El futuro de la legislación española de vertidos. El borrador del nuevo RDPH.

Del análisis de la legislación española relacionada con la gestión de las aguas pluviales y su afección al medio receptor se desprende que aún hay mucho trabajo normativo por realizar. En este sentido, es importante tener en cuenta que:

- Las descargas a los medios receptores de los sistemas de saneamiento existen y son inevitables. Sin embargo, no existe actualmente normativa específica que regule los desbordamientos de los sistemas de saneamiento en episodios de lluvia.
- Estas descargas no se pueden considerar vertidos como tal, por lo que requieren un tratamiento específico. Como, además, generan un importante problema de contaminación, deben ser reguladas, por lo que hay que modificar las declaraciones y solicitudes de vertido.
- Afrontar cualquier problema relacionado con el saneamiento necesita de un enfoque integral, que tenga en cuenta el alcantarillado, los colectores, las EDARs y el medio receptor, y a largo plazo. Además, cualquier planteamiento normativo tiene que poder adaptarse a las características del sistema.
- Cualquier solución que se plantee tiene que involucrar a todos los agentes implicados: todos tenemos derecho a disfrutar de un medio ambiente adecuado para el desarrollo de la persona, así como el deber de conservarlo, tal y como establece nuestra Constitución en el artículo 45. Una verdadera participación pública garantizaría el cumplimiento de este precepto.

De todo lo indicado anteriormente, se concluye que es urgente afrontar una modificación del régimen jurídico de estas aguas. Conocedor de esta situación, el Ministerio competente en materia de medioambiente ha realizado un borrador de Real Decreto a través del cual se modifica el Reglamento del dominio público hidráulico (RDPH) y el Real Decreto 509/1996, que desarrolla el RDL 11/1995 e incorpora a nuestro ordenamiento la Directiva 91/271/CEE.

En este borrador se reconoce explícitamente (preámbulo del mismo) que *en la práctica **no es posible** construir los sistemas colectores y las instalaciones de tratamiento de manera que se puedan someter a tratamiento la totalidad de las aguas residuales en circunstancias tales como lluvias torrenciales inusuales.*

Partiendo de esta idea, los aspectos clave de esta modificación son los siguientes:

1- Se incorporan al RDPH preceptos que limitan la contaminación producida por los desbordamientos de las redes de saneamiento: La modificación propuesta es bastante profunda ya que se cambian un total de 46 epígrafes del RDPH. Los aspectos más destacables en relación a la gestión de las aguas pluviales son los siguientes:

- En primer lugar, se propone modificar el artículo 246 del RDPH para que en la solicitud de autorización de vertido se incluya, entre otras cosas, *las características cualitativas, cuantitativas y **temporales** del vertido*, así como *documentación técnica que desarrolle y justifique adecuadamente las **características de la red de saneamiento y los aliviaderos**, y las **medidas, obras e instalaciones previstas para limitar la contaminación por desbordamiento en tiempo de lluvias***. Además, se establece que en el caso de declaraciones de vertido formuladas por entidades locales y comunidades autónomas, entre otras cosas, también indiquen el *conjunto de medidas que comprendan **estudios técnicos de detalle** que, teniendo en cuenta el régimen de lluvias, las características de la cuenca vertiente, el diseño de la red de saneamiento, la naturaleza y **características de las sustancias presentes en los desbordamientos de los sistemas de saneamiento en episodios de lluvia**, y los objetivos medioambientales del medio receptor, definan las **buenas prácticas y actuaciones básicas para maximizar el transporte de volúmenes hacia las estaciones depuradoras de aguas residuales y de escorrentía** y **reducir el impacto de los desbordamientos de los sistemas de saneamiento en episodios de lluvia***.
- Se propone modificar el artículo 251 RDPH, relativo al condicionado que se debe incluir en las autorizaciones de vertido. En relación con la gestión de las aguas de lluvia, las principales novedades son la obligación de incorporar, *en su caso, medidas, actuaciones e instalaciones para la regulación de los desbordamientos de los sistemas de saneamiento en episodios de lluvia, así como los elementos de control de las mismas, necesarios que permitan limitar adecuadamente la contaminación que puedan producir y cumplir los objetivos medioambientales*

del medio receptor. En la modificación del artículo 251 RDPH también se propone que, una vez concedida la autorización, las entidades locales y comunidades autónomas autorizadas estén obligadas, entre otras cosas, a *informar anualmente sobre los desbordamientos de la red de saneamiento*.

- Se crea una nueva sección 4ª bis titulada *Desbordamientos de sistemas de saneamiento en episodios de lluvia*, que contiene un único artículo, el 259 ter. En este artículo se establecen los principales criterios que regirán el diseño de los sistemas de saneamiento en zonas urbanas y en zonas industriales.
- Así, con respecto a las zonas urbanas se indica:
 - La **elección entre redes separativas o unitarias** será justificada en los proyectos de nuevos desarrollos urbanos. Además, hay que incorporar medidas que limiten la aportación de aguas de lluvia a los colectores.
 - No se admitirá la incorporación, salvo casos justificados, de aguas de escorrentía de zonas exteriores a la aglomeración urbana o de otro tipo de aguas que no sean las propias para las que fueron diseñados.
 - No se admitirán vertidos por los aliviaderos en tiempo seco. Además, estos aliviaderos deberán dotarse de elementos que reduzcan la evacuación de sólidos gruesos y flotantes, sin que estos elementos reduzcan la capacidad hidráulica de desagüe de los aliviaderos.
 - Se dispone la obligación de disponer de obras e instalaciones para retener y evacuar adecuadamente hacia la EDAR las primeras aguas de escorrentía.
- Con respecto a las zonas industriales, los criterios que se establecen en relación con los desbordamientos en episodios de lluvia son más estrictos que los de las aguas residuales urbanas. Se pueden señalar los siguientes:
 - En este caso, hay que **establecer preferentemente redes separativas**, pero incorporando un tratamiento de las aguas de escorrentía independiente del de las aguas residuales.
 - En las redes de colectores de aguas residuales de estas zonas no se admite la incorporación de aguas de escorrentía procedentes de zonas exteriores o de otro tipo de aguas que no sean las propias para las que fueron diseñados, salvo en casos debidamente justificados.
 - Además, no se permiten aliviaderos en las líneas de recogida y depuración de aguas con sustancias peligrosas o aguas de proceso industrial.
- En este mismo artículo 259 ter **se establece la obligación de desarrollar una orden ministerial y una instrucción técnica** (normas técnicas) que regule las medidas, obras e instalaciones

previstas para limitar la contaminación por desbordamiento de los sistemas de saneamiento en episodios de lluvia.

- Por último, en este artículo también se indica que el deterioro temporal del estado de las masas de agua consecuencia de los desbordamientos de los sistemas de saneamiento en episodios de lluvia, no constituirá infracción si se debe a causas naturales o de fuerza mayor o al resultado de circunstancias derivadas de accidentes, que sean excepcionales o que no hayan podido preverse razonablemente. En tales casos el titular de la autorización informará inmediatamente al Organismo de cuenca, especificando las causas, potenciales daños y medidas adoptadas para minimizar los efectos.

2- Se reforma el artículo 2 del RD 509/1996, que establece las condiciones técnicas de los sistemas colectores: en este artículo, hasta ahora, en una mala transposición de la Directiva 91/271/CEE, se indica que tanto en el proyecto como en la construcción y en el mantenimiento de estos sistemas *hay que tener presente el volumen y características de las aguas residuales urbanas* y utilizando técnicas adecuadas que garanticen la estanqueidad de los sistemas e *impidan la contaminación de las aguas receptoras por el desbordamiento de las aguas procedentes de la lluvia*.

El objetivo de esta modificación es adecuar el contenido de este precepto a lo indicado por la Directiva 91/271/CEE. Así, tras esta modificación, el proyecto, construcción y mantenimiento de los sistemas colectores se realizaría no sólo teniendo en cuenta el volumen y las características de las aguas residuales urbanas, sino también *empleando los mejores conocimientos técnicos disponibles que no redunden en costes desproporcionados*, con el objetivo último de **limitar** (no impedir) *la contaminación aportada al medio receptor por desbordamiento de aguas de escorrentía y para conseguir una adecuada estanqueidad de los sistemas colectores*.

3- Se introduce una disposición adicional a través de la cual se crea un inventario de los puntos de desbordamiento de aguas de escorrentía. Este inventario estará antes del 31 de diciembre de 2015 y formará parte del inventario sobre el tipo y la magnitud de las presiones antropogénicas significativas a las que están expuestas las masas de agua. Este inventario se almacenará y mantendrá actualizado en un sistema informático convenientemente georreferenciado. Para elaborar este inventario es necesario que los titulares de actividades que originen desbordamientos de los sistemas de saneamiento en episodios de lluvia presenten a los Organismos de cuenca una relación de los puntos de desbordamiento antes del 31 de diciembre de 2014.

4- Por otro lado, también se introduce una disposición con un régimen transitorio de incorporación de medidas en los sistemas de saneamiento para el control de desbordamientos de aguas de escorrentía. En la siguiente tabla se reflejan los principales hitos:

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Titulares de vertidos > 2.000 h-eq: presentar relación puntos desbordamiento														
Cumplimiento objetivos medioambientales (art. 4 DMA). Revisión Planes Hidrológicos														
Organismos de cuenca: inventario puntos desbordamiento														
Nuevas solicitudes de autorización de vertido de aglomeraciones > 2.000 h-eq y de zonas industriales: documentación y conjunto de medidas establecidas														
Autorizaciones de vertido vigentes y en trámite a la entrada en vigor del nuevo RD, y las solicitadas hasta en 31/12/2015: documentación y conjunto de medidas establecidas														
Finalización 1er ciclo de Gestión (art. 4 y 13 DMA)														
Finalización 2º ciclo de Gestión. Líneas finales cumplimiento objetivos (art. 4 y 13 DMA)														

Tabla 5.4. Principales hitos temporales del borrador de modificaciones del reglamento de dominio público hidráulico.

Elaboración propia.

4- NORMATIVA EN EL ÁMBITO DE LA CONSTRUCCIÓN RELACIONADA CON LA GESTIÓN DE LAS AGUAS PLUVIALES.

4.1- La Instrucción para el proyecto de conducciones de vertidos desde tierra al mar.

La única referencia que establece en España unos límites a los vertidos en tiempo de lluvia desde sistemas de saneamiento unitarios es la "Instrucción para el proyecto de conducciones de vertidos desde tierra al mar", aprobada a través de la Orden de 13 de julio de 1993.

Este texto comenta que si el sistema de colectores es de tipo unitario deberá tenerse en cuenta la pluviometría de la zona y especifica que si la capacidad de éstos es superior a la del emisario podrá existir un aliviadero que, a través de una conducción de desagüe, evacue al mar el exceso de caudal. Hay que señalar que esta Instrucción es previa a la Directiva Marco del Agua, y no está adaptada a ella (Puertas Agudo, y otros, 2008).

4.2- La Norma UNE-EN 752: Sistemas de desagües y de alcantarillado exteriores a edificios.

El cumplimiento de esta norma UNE no es obligatorio en cualquier caso, aunque en este contexto es importante señalar su existencia, ya que es de las pocas normativas que existen en España con alguna disposición relativa a medidas para una mejor gestión de las aguas pluviales. En todo caso, hay que indicar que en ella se establecen criterios muy genéricos y poco concretos en relación a los sistemas de saneamiento en tiempo de lluvia. Esta norma se gestó a lo largo de los años 90, y sus sucesivos apartados fueron apareciendo desde el año 1995 hasta el año 1998. Por ello, ya tiene en consideración el medio receptor a la hora de plantear un saneamiento, además de la seguridad y salud, la planificación de las actuaciones o la organización de la información. Por otro lado, se

considera el sistema de saneamiento como un sistema integral, incluyendo las redes de colectores, los sistemas de tratamiento, el control de vertidos y el medio receptor (Suárez, y otros, xxx).

Entre los requisitos básicos de comportamiento a los que deben ajustarse los sistemas de desagüe y de alcantarillado, aparecen dos fundamentales: la frecuencia de rebosamiento, limitada a valores establecidos; y el medio receptor, protegido de la contaminación dentro de unos límites prescritos (Puertas Agudo, y otros, 2008). Además, con respecto al diseño de los aliviaderos, se apuntan como factores a considerar: los caudales, el volumen, duración y frecuencia de las descargas, las concentraciones de contaminantes y las cargas contaminantes, y la presión hidrobiológica.

4.3- Criterios de diseño de colectores y EDAR para una adecuada gestión de las pluviales.

Existen distintas normativas a nivel nacional e internacional para el dimensionamiento y diseño de las redes de colectores y las EDAR, en relación con la gestión de las aguas pluviales. En todas ellas se establecen criterios para decidir, entre otras cosas, cuál es el máximo caudal que se debería dejar llegar a una EDAR, cuál es el volumen que hay que retener en la red antes de aliviar o que dilución se permite en las descargas de los sistemas unitarios. A modo de resumen, puesto que ya se han tratado con detalle en el capítulo 5, se incluye la siguiente tabla (Beneyto González-Baylín, 2004).

	Descripción	Criterios de diseño			
		Caudal a EDAR	Volumen de almacenamiento	Dilución de los vertidos	Vertidos en EDAR
Alemania	Se exige que la DDO vertida por los aliviaderos más la vertida por la EDAR no supere la que se vertería si el sistema fuese separativo.	2-3 veces el caudal de tiempo seco. Hay una caudal crítico por debajo del cual no se pueden realizar vertidos.	Es función del valor de reboso permitido que depende a su vez de la concentración en el reboso y de la relación de mezcla. 3.6-40 m ³ /ha neta.	Coefficiente de mezcla=7.	No están permitidos.
Gran Bretaña		Es función de la población y de los caudales medios de tiempo seco.		6-7 veces el caudal de tiempo seco	Si están permitidos.
España	Se basa en calcular el caudal que ha de dirigirse a la EDAR y el volumen de almacenamiento de la red para que con unas determinadas condiciones no se produzca vertido.	Es función de la población y de los caudales medios de tiempo seco.	Suficiente para retener una lluvia de 10 L/s/ha durante 20 minutos sin que se produzca vertido. 4-9 m ³ /ha neta.	6-7 veces el caudal de tiempo seco	Si están permitidos.
Suiza	Se calcula un volumen de almacenamiento total en función de la sensibilidad del medio y el coeficiente de mezcla.	2 veces el caudal de tiempo seco. En el momento del vertido debe ser superior a 5 veces el caudal de tiempo seco y superior a un caudal crítico definido para una lluvia crítica.	Se reparte el volumen de almacenamiento total entre un volumen de sedimentación, un volumen de primer lavado y un volumen de almacenamiento en la propia red.	Dilución mínima=5	
Francia	Hay dos métodos de cálculo: el método de la lluvia crítica para los depósitos situados en la red y el de los caudales para los situados antes de la EDAR.			3-4 veces el caudal de tiempo seco MLLC: El caudal hacia la EDAR es el de tiempo seco más el correspondiente a la lluvia crítica.	MLLC: se calcula un volumen específico en función de la intensidad crítica. MLC: Capaz de retener 6 veces el caudal de tiempo seco.
Holanda	Se limita el número de reboses y el caudal a la EDAR y a partir de estas dos limitaciones se calcula un volumen de almacenamiento necesario.				Es función del valor de caudal que se conduce a la EDAR y del número de reboses permitidos (ábaco de Kuiper)
Japón	Se exige que la DBO vertida por los aliviaderos más la vertida por la EDAR no supere la que se vertería si el sistema fuese separativo.				50-100 m ³ /ha neta

Tabla 5.5. Estándares de diseño de colectores y EDAR por países (Beneyto González-Baylín, 2004).

4.4- El Código Técnico de la Edificación.

El **Código Técnico de la Edificación** (CTE), aprobado a través del RD 314/2006, de 17 de marzo, establece las exigencias que deben cumplir los edificios en relación con los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad. El CTE es ambicioso en mucho de sus planteamiento, sin embargo, no hace ninguna referencia explícita la aprovechamiento de aguas grises ni a otros sistemas de aprovechamiento de aguas pluviales o de renovación de piscinas (Saurí, y otros, xxx). En este sentido, en relación con las aguas pluviales, la única referencia la hace el CTE en el Documento

Básico de Salubridad, en su Sección HS 5, de **Evacuación de aguas**, donde indica lo siguiente con respecto a las configuraciones de los sistemas de evacuación (apartado 3.2):

- 1- Cuando exista una única red de alcantarillado público debe disponerse un sistema mixto o un sistema separativo con una conexión final de las aguas pluviales y las residuales, antes de su salida a la red exterior. La conexión entre la red de pluviales y la de residuales debe hacerse con interposición de un cierre hidráulico que impida la transmisión de gases de una a otra y su salida por los puntos de captación tales como calderetas, rejillas o sumideros. Dicho cierre puede estar incorporado a los puntos de captación de las aguas o ser un sifón final en la propia conexión.
- 2- Cuando existan dos redes de alcantarillado público, una de aguas pluviales y otra de aguas residuales debe disponerse un sistema separativo y cada red de canalizaciones debe conectarse de forma independiente con la exterior correspondiente.

4.5- Otra normativa.

Además de toda la normativa recogida a nivel estatal, en la legislación de las Comunidades Autónomas también se han establecido algunos preceptos directamente relacionados con la gestión de las aguas pluviales.

En este sentido, es numerosa la legislación relacionada con lo que se ha venido llamando *construcción sostenible*, enfocada fundamentalmente al ahorro de agua a través de la reutilización de aguas grises y pluviales.

- Así, se puede señalar la Ley 6/2006, sobre incremento de las medidas de ahorro y conservación en el consumo de agua, a través de la cual se establecen medidas mínimas de ahorro en el consumo de agua, aplicable a todos los municipios de la Región de Murcia y a todos los sectores económicos. Entre esas medidas se puede citar la obligación de utilizar para el riego agua no potable, procedente de aguas subterráneas, regeneradas, pluviales, etc.

- También se puede citar el Decreto 21/2006, de Ecoeficiencia en edificios. Este Decreto de la Generalitat de Cataluña tiene por objeto incorporar parámetros de ecoeficiencia en los edificios de nueva construcción (Saurí, y otros, xxx), los procedentes de reconversión de edificaciones existentes o de obras de rehabilitación, aplicándose tanto a edificios de titularidad pública como privada. Así, se exige para cualquier edificio la *separación de las aguas pluviales de las grises y negras en el interior del edificio*.

- En este contexto habría que citar el Decreto ya derogado 262/2007, de 20 de diciembre, por el que se aprueban las normas de hábitat gallego. Este decreto incluía, entre otras muchas medidas ligadas a la sostenibilidad, el reciclaje o el ahorro de energía en la edificación, la obligación de que las aguas grises y pluviales tuvieran un tratamiento que permitiera la posterior reutilización de las mismas. Este decreto ha sido sustituido por el Decreto 29/2010, de 4 de marzo de 2010, por el que se

aprueban las normas de habitabilidad de viviendas de Galicia, donde ya no se incluye ninguna disposición relativa a las aguas grises o pluviales.

5- SOLUCIONES JURÍDICAS EN OTROS PAÍSES DE LA UNIÓN EUROPEA.

En este contexto, además del marco general establecido por la Comisión Europea, a través de las numerosas directivas que ya han sido analizadas, algunos países han legislado otros aspectos concretos relacionados con la gestión de las aguas pluviales. A continuación, sin ánimo de ser exhaustivos, analizamos algunas de estas singularidades normativas.

Holanda: La política en gestión de aguas pluviales holandesa tiene cuatro pilares fundamentales (Jong, y otros, 2011): (1) atacando el problema en origen mediante la prevención de la contaminación del agua de lluvia, (2) la recogida y el almacenamiento del agua de lluvia, (3) separar el agua de lluvia del agua residual (redes separativas), y (4) equilibrar todas estas consideraciones a nivel local. En este sentido, la Ley de aguas holandesa establece la obligación de que, a nivel local, se vele por una recogida eficiente de la escorrentía siempre que no sea razonable que quien disponga de esa agua, quiera disponer de ella o tenga que disponer de ella, la deje fluir por el terreno o por las aguas superficiales. Además, los municipios velarán por el tratamiento eficaz del agua de lluvia recogida. Este tratamiento incluirá al menos las siguientes medidas: almacenamiento, transporte, uso efectivo o descarga, antes o después del tratamiento, en el terreno o en las aguas superficiales, así como su transporte a una planta de tratamiento.

De conformidad con la Ley de Gestión Ambiental, a través de una ordenanza municipal se pueden imponer reglas específicas sobre la descarga del agua de lluvia. Además, cuando sea razonable que el dueño de una parcela gestione las aguas que emergen o caen sobre su propio terreno, el ayuntamiento puede dar un plazo para que estas aguas se desconecten de la red de saneamiento. En esta misma ley, en su sección 4.22 se establece que periódicamente los ayuntamientos tienen que elaborar un plan de saneamiento municipal en donde, entre otras muchas cosas, se debe indicar cómo se van a recoger y procesar la escorrentía de las aguas de lluvia. En este sentido, es importante señalar que la legislación no requiere para estas aguas la existencia de un sistema de alcantarillado, sino que se permiten soluciones alternativas que consigan el mismo resultado.

Por otro lado, la legislación en materia de ordenación del territorio permite que se establezcan, a través de los planes de ordenación urbana, requisitos para la gestión de las aguas pluviales con efectos vinculantes para los propietarios, pero sólo si los requisitos se consideran “especialmente relevantes”. En este sentido, en este tipo de legislación, en Holanda no se incluyen prescripciones relativas a la obligatoriedad de que un determinado edificio gestione sus propias aguas pluviales. En todo caso, estas especificaciones se incluirían en los códigos de construcción holandeses, pero nunca

imponiendo una determinada solución constructiva (tipo cubiertas vegetales), sino incluyendo un determinado rendimiento de autogestión de las aguas pluviales (Jong, y otros, 2011).

Alemania: El aumento de las superficies impermeables en Alemania, como consecuencia de los desarrollos urbanísticos, ha incrementado el volumen y la velocidad de la escorrentía de aguas pluviales. En este sentido, los planes de ordenación del territorio alemanes establecen medidas para evitar estos efectos negativos sobre el ciclo hidrológico. Así, en el planeamiento urbano se incluye:

- Límites a la impermeabilización de superficies. Para ello, se establece un límite superior de m² construido / m² de parcela. La adopción de uno u otro valor para esta relación tiene que estar justificada en el planeamiento urbano.
- Una proporción de superficie destinada a la infiltración compatible con los usos y la impermeabilización del terreno. Así, en base al artículo 9 del Código Alemán de Edificación, de carácter federal, se puede estipular como tiene que ser la estructura de las zonas de tráfico, la vegetación de las márgenes de las carreteras, o las zonas verdes en general. Además, los nuevos desarrollos urbanísticos tienen que incorporar elementos ecológicos en su diseño.
- Medidas para retener e infiltrar aguas pluviales. A través del planeamiento urbano también se establecen áreas para la construcción de instalaciones de gestión del agua de lluvia (tanques de retención). También se suelen adoptar medidas relacionadas con el empleo de cubiertas vegetales o cubiertas verdes.

La principal singularidad del sistema alemán se presenta en las tarifas del agua. Las aguas pluviales conectadas a la red de saneamiento tienen que ser tratadas en EDAR, generando costes, y estos costes se facturan a los habitantes que se aprovechan de esa red de alcantarillado.

El cálculo de esos costes es distinto en cada estado. Así, por ejemplo, en Berlín se calculan tomando como base las superficies de cubierta y de suelo impermeabilizado que han sido conectados directa o indirectamente a la red de colectores públicos. En el importe a pagar se tiene en cuenta el tipo de superficie y su permeabilidad (asfalto, hormigón, losas, adoquines, gravas, césped, etc), de tal modo que cuanto más permeable sea una superficie, menos hay que pagar por este concepto.

Francia: Desde la perspectiva de ordenación del territorio, se puede citar legislación recientemente aprobada en Francia: la denominada Ley Grenelle I y Ley Grenelle II. Con estas dos leyes se busca la creación de un patrón de crecimiento diferente (Lefèvre, 2011). Así, junto a disposiciones de planificación territorial y desarrollo sostenible, que intentan garantizar la coherencia de la sostenibilidad ecológica, la mejora de la eficiencia energética y reducir las emisiones de gases invernadero, también se plantean nuevos planes de prevención de riesgos naturales o planes de energía y cambio climático. Pero, además, la parte operativa de la ley también prevé una amplia gama de instrumentos financieros y fiscales, entre los que se puede citar un impuesto anual para la

gestión de las aguas pluviales. Por otro lado, la Ley de Aguas y Medio Acuáticos, de 30 de diciembre de 2006, permitió a los ayuntamientos instaurar un impuesto local específico para gestionar las aguas pluviales (0,20 euros/m² como máximo). En paralelo, esta ley instauró una línea de créditos para financiar trabajos de recuperación de aguas pluviales y permitió su utilización para usos exteriores a las viviendas (riego, lavado de coches, etc.) (Oficina Internacional del Agua, 2005).

- CAPÍTULO 6 -

LA GESTIÓN DE LAS AGUAS PLUVIALES DESDE UNA PERSPECTIVA TÉCNICA

1- INTRODUCCION.

En este capítulo se analizan los principales aspectos técnicos de la gestión de las aguas pluviales.

En primer lugar, nos centramos en el modo clásico de gestionar las aguas pluviales, que consiste en la evacuación de las aguas pluviales de un determinado territorio a través de extensas redes de tuberías, buscando solucionar un problema de exceso de agua. En este sentido, la elección del tipo de red (unitaria o separativa) es la primera cuestión técnica a resolver.

En segundo lugar, se analizan las principales carencias de este enfoque tradicional, abordando otras técnicas disponibles, como los tanques de almacenamiento o los instrumentos para el control de la contaminación.

Posteriormente, se analizan los denominados sistemas de drenaje urbano sostenible, que buscan mejorar, desde un punto de vista técnico, la gestión de las aguas pluviales, con soluciones más integradoras y que aportan valor añadido.

Por último, se incluyen los principales aspectos a tener en cuenta a la hora de seleccionar alguno de los sistemas de drenaje urbano sostenible existentes.

2- EL ENFOQUE TÉCNICO TRADICIONAL. LA ELECCIÓN DE REDES UNITARIAS O REDES SEPARATIVAS.

El modo tradicional de gestionar las aguas pluviales en entornos urbanos es a través de extensas redes de tuberías, cuyo objetivo último es desaguar, lo más rápido posible, todas las aguas pluviales que se pueden recoger en un territorio, conduciéndolas al medio receptor. El objetivo fundamental es reducir el riesgo de inundaciones, a pesar de que estos sistemas se implementan sin tener en cuenta el impacto causado aguas abajo.

Estas tuberías, que garantizan la entrega rápida y eficaz de las aguas pluviales hasta el punto de descarga, configuran las denominadas redes de drenaje de las aguas pluviales. La existencia de estas redes, aunque no resuelve toda la problemática asociada a la gestión de este tipo de aguas, pudiendo su presencia incluso agravarla, es un elemento clave que hay que analizar con detalle.

Desde un punto de vista histórico, las redes de drenaje de aguas pluviales son anteriores a las redes de recogida de aguas residuales (Redondo, 2005). La evacuación de los residuos líquidos comenzó fundamentalmente en el siglo XIX, con la distribución de agua potable a las viviendas y el empleo de aparatos sanitarios. Inicialmente, esta evacuación se realizaba a las redes de drenaje ya existentes, y la coexistencia de ambos tipos de vertidos, de fecales y de pluviales, en las redes ha perdurado, en muchos casos, a lo largo del tiempo. En este sentido, según cómo sea la relación de estas redes de aguas pluviales con las tuberías que evacúan las aguas fecales, podemos hablar de:

- 1- Redes unitarias: La red unitaria transporta aguas residuales en tiempo seco y aguas residuales y pluviales conjuntamente en tiempo de lluvia, es decir únicamente hay una conducción. La descarga al medio receptor de ambas aguas se produce, en el mejor de los casos, una vez tratadas en una estación depuradora.
- 2- Redes separativas: La red separativa transporta por conductos independientes las aguas residuales y las aguas pluviales. La descarga de las pluviales se produce directamente al medio receptor, pudiendo llegar a aportarle, de forma concentrada, grandes volúmenes de agua.

La elección de uno u otro tipo de red no es cuestión baladí ni está resuelta con claridad en la bibliografía. Los dos tipos de redes presentan ventajas e inconvenientes, tal y como se analizó en el capítulo correspondiente a la perspectiva química. Desde un punto de vista técnico, entre las ventajas que podemos citar de las redes separativas estarían:

- Hasta la depuradora sólo se transporta el agua residual, con lo que empleamos diámetros más pequeños y la depuradora no sufre variaciones de cargas contaminantes muy elevadas.
- El volumen de tratamiento en la depuradora es menor.
- Se eliminan completamente los aliviaderos o reboses, con lo que se evita que las aguas residuales sean vertidas al medio receptor en tiempo de lluvia.

Entre los inconvenientes técnicos que podemos citar están los siguientes:

- Se debe de realizar un control de vertidos más riguroso para evitar malas acometidas.
- Las aguas de lluvia pueden contaminar las masas receptoras, sobre todo durante las primeras lluvias.
- La red separativa es más cara que la red unitaria, ya que se colocan dos tuberías y doble acometida.
- Insertar un sistema separativo en una zona con sistema unitario es difícil
- Este tipo de red exige mayores gastos de conservación y mantenimiento.

En relación con el debate de redes separativas o unitarias resulta muy interesante el trabajo de Sara De Toffol (De Toffol, 2006). En esta referencia, a través del análisis de situaciones concretas, donde

se tiene en cuenta y se simula la calidad del medio receptor y los impactos morfológicos, las emisiones y los costes, se concluye que la elección de uno u otro tipo depende de cada situación concreta.

Así, hay que indicar que en cada caso particular, habrá que pesar las ventajas e inconvenientes de cada tipo de red de saneamiento, en función de las condiciones topográficas del suelo y subsuelo, climatología, y de las características sociales y económicas de las localidades. No siempre la red separativa garantiza un menor impacto en el medio (Fuchs, y otros, 2004).

En este mismo sentido, hay que tener en cuenta que en muchos núcleos urbanos habrá ocasión de emplear ambos sistemas a la vez, bien porque algunas zonas puedan tener un rápido y fácil desagüe directo, bien porque muchas calles, por su corta longitud y fuerte pendiente, no precisan sumideros y permitan el desagüe pluvial de las fincas a la calzada. Esto constituye un sistema mixto.

Por lo tanto también se puede hablar de sistemas de saneamiento pseudoseparativos y sistemas doblemente separativos. Los sistemas pseudoseparativos son aquellos que disponen de una única tubería para las aguas residuales y pluviales procedentes de la edificación y de otra tubería para las aguas procedentes de la escorrentía de la vía pública. El sistema doblemente separativo es aquel que evacua de forma independiente las aguas residuales domésticas, las industriales y las pluviales.

3- LAS CARENCIAS DEL ENFOQUE TRADICIONAL. PROBLEMAS TÉCNICOS RELACIONADOS CON EL DRENAJE URBANO.

El espectacular crecimiento de las aglomeraciones urbanas de los últimos años hace que, respecto al drenaje urbano, desde un punto de vista técnico, fundamentalmente sean tres los problemas que haya que solucionar:

- Aumento del riesgo de inundación como consecuencia del incremento de caudales de escorrentía superficial, ya que se ha producido un aumento de las superficies impermeables en el entorno de las ciudades.
- Impacto sobre el medio receptor de descargas directas de redes de saneamiento y drenaje (polución causada por arrastre de contaminantes por las aguas pluviales).
- Perjuicios hacia la ciudadanía. Los problemas anteriores de cantidad y calidad, suponen un perjuicio en la prestación de servicios a la ciudadanía, como por ejemplo afecciones al tráfico, daños materiales, desnaturalización del entorno... En este sentido, la disminución de superficies naturales y espacios abiertos a favor de nuevas zonas urbanas de edificación repercute en la calidad del espacio urbano y en el servicio ofrecido por la ciudad a la sociedad afectando a la estética del entorno.

Tal y como veíamos en el apartado anterior, el enfoque técnico tradicional únicamente intentaba dar solución al primero de estos problemas, el aumento del riesgo de inundación, evacuando velozmente las aguas recogidas por las redes de tuberías.

En este sentido, los problemas de inundación pueden tener dos orígenes (externo a la red o con origen en la red de drenaje urbano).

- En el caso externo a la red se indican las inundaciones por desbordamientos de ríos en régimen de crecida afectando a zonas urbanas, y las obras de vías de comunicación que interrumpen la red de desagüe natural con obras de paso insuficientes dando lugar a embalsamiento en caso de avenida.
- Los problemas con origen en la red urbana pueden ser los siguientes:
 1. Sobrecarga de redes, las cuales obedecen a diferentes causas como:
 - Impermeabilización progresiva del territorio
 - Falta de capacidad en origen de la red existente
 - Mala conservación y reducción de capacidad por acumulación de arrastres.
 - Modificación puntual de la sección de los colectores debido al desarrollo urbano, como pasos deprimidos de calles (sifones, estrechamiento secciones,...)
 2. Cubrición de cauces naturales con vegetación, piedras, arenas..., produciendo inundaciones en las zonas urbanizadas más inmediatas.
 3. Operación del sistema. En los controles automatizados de las redes pueden producirse fallos en los equipos, en el sistema eléctrico, sistemas de control (inundaciones de estaciones de bombeo, fallos de compuertas.....)

Atendiendo a las causas de los problemas de inundación, las soluciones clásicas, basadas únicamente en extensas redes de tuberías, ni tan siquiera son eficaces para mitigar las posibles crecidas:

- Tratan de solucionar el problema únicamente con la propia red de tuberías, por lo que, ante el aumento constante del volumen de agua a evacuar, la única alternativa es un aumento proporcional de los diámetros empleados, que además tendría que ir acompañado de exhaustivas operaciones de mantenimiento, que casi nunca se realizan.
- No tienen en cuenta lo que sucede aguas abajo ni la capacidad del medio receptor para asumir en un pequeño espacio de tiempo grandes volúmenes de agua.

Por estos motivos, el primer paso que hay que dar para poder mejorar la gestión de los problemas de inundación y disminuir los perjuicios hacia la ciudadanía, es considerar las redes de tuberías, unitarias o separativas, como parte de lo que habitualmente se denomina *sistema de saneamiento*.

Este sistema está compuesto por la cuenca de aportación, las redes de alcantarillado (residuales o pluviales), las estaciones depuradoras y las masas de agua receptoras.

El hecho de considerar las redes de drenaje urbano como parte de este sistema hace que aparezcan soluciones basadas en tanques de retención o estanques de tormenta, en combinación con las redes de tuberías convencionales. Los tanques de tormenta se basan en la utilización de volúmenes de almacenamiento, no solamente para minimizar el número de alivios, sino también para mejorar la calidad del efluente (Redondo, 2005), bien por almacenamiento de las aguas de primer lavado más contaminadas (*firstflushtanks*) o proporcionando un tratamiento de decantación en aquellas redes en las que el fenómeno del primer lavado no es importante (*settlingtanks*). Estos tanques pueden situarse en los puntos de entrada al interceptor general, en la EDAR, o en algún punto intermedio. Su volumen, sus características y su ubicación dependen fundamentalmente de la capacidad de admisión del medio receptor.

En la siguiente tabla se indica el número de tanques de tormenta existente en algunas de las principales ciudades españolas, pudiéndose comprobar que su instalación está bastante generalizada. En España, la experiencia más interesante en este sentido, es la desarrollada por CLABSA en la ciudad de Barcelona (ver Anejo 4).

	CARACTERISTICAS
MADRID	41 tanques de tormenta con capacidad de 1.188.000 m ³
BILBAO	6 tanques de tormenta con capacidad de 255.000 m ³
LA RIOJA	2 tanques de tormenta con capacidad de 14.000 m ³
NAVARRA	Pamplona, 1 tanque de 3.000 m ³ y Tudela 1 de 4.000 m ³
GIJON	1 tanque de 26.300 m ³
BARCELONA	12 depósitos de 500.000 m ³
LUGO	16 depósitos de 14.000 m ³
SEVILLA	Alcalá de Guadaira, depósito de 11.500 m ³
	Dos Hermanas, 6.000 m ³
VALENCIA	2 tanques de 40.000 m ³
	Tanque de 24.000 m ³ en la playa de la Malvarrosa

También hay que reseñar que el PNCA 2007-2015 (Plan Nacional de Calidad de las Aguas) incluye una inversión de 3.106 millones de euros para tanques de tormentas.

4- EL NUEVO ENFOQUE TÉCNICO. LOS SISTEMAS DE DRENAJE URBANO SOSTENIBLE.

Las soluciones presentadas hasta ahora únicamente aportan soluciones parciales al problema global, tampoco resuelven el problema en su totalidad. Estos problemas (riesgo de inundación, impacto al medio receptor y perjuicios a la ciudadanía) deben ser abordados con nuevas formas de gestión que tiendan al control de las aguas de escorrentía pluvial, mediante técnicas de almacenamiento y de control de la contaminación.

En este contexto, y como consecuencia del trabajo realizado por la Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo de Naciones Unidas (Informe Brundtland 1987), en los últimos años se ha planteado un nuevo enfoque en el drenaje urbano, consistente en emplear técnicas de drenaje que consideren e integran aspectos como cantidad de agua, calidad y servicio a la sociedad.

Por tanto, se intenta resolver el problema global, contemplando el ciclo del agua en todo su conjunto y teniendo en cuenta todos los aspectos asociados a la hora de planificar la gestión integral de las aguas de lluvia, contribuyendo a la generación de ciudades sostenibles a largo plazo.

Así, como complemento al tratamiento convencional de las aguas pluviales se emplean los sistemas urbanos de drenaje sostenible, conocidos como SUDS (Sustainable Urban Drainage Systems, ver Anejo 5 para más detalle sobre esta técnica).

Dentro de los SUDS se puede hacer la siguiente clasificación por categorías:

Medidas Preventivas: Se trata de cualquier consideración a nivel de planeamiento que limite cualquier problema asociado a la escorrentía superficial.

De tal manera que para limitar problemas de cantidad se plantea la reducción de superficies impermeables, reutilización del agua de lluvia, división de cuencas urbanas para evitar concentrar grandes volúmenes.

Para solucionar problemas derivados de la calidad se recurre a medidas de educación y concienciación de los ciudadanos, limpieza urbana, control de gasolineras, talleres y zonas industriales.

Sistemas de infiltración o control en origen: Son sistemas de recepción directa del agua de lluvia o escorrentía superficial, en los que se permite la infiltración superficial, como por ejemplo firmes permeables, pozos de infiltración, zanjas de infiltración y depósito de infiltración.

- Se denomina firme permeable a cualquier sección que permita el paso vertical del agua a través suyo. Una de las aplicaciones más importantes de estos sistemas son los aparcamientos de superficie, los cuales tienen su importancia en los aparcamientos de grandes áreas comerciales, permitiendo la infiltración a los acuíferos naturales o el almacenamiento y reutilización de aguas pluviales.

- Otros sistemas son las zanjas y pozos de infiltración, definiéndose como depósitos subterráneos que sirven para recoger y almacenar el agua de escorrentía hasta que se produce la infiltración en el terreno. Es muy común utilizar estos sistemas en zonas verdes de los parques y cunetas, proporcionando al urbanista de elementos de diseño muy estéticos para el diseño de la ciudad.
- Por último indicar los depósitos de infiltración que consisten en embalses superficiales, es decir se almacena el agua para posteriormente infiltrarse. Una práctica habitual para este tipo de depósitos puede ser en glorietas y centro de enlaces, cambiando la forma habitual convexa por una cóncava para permitir la retención del agua y su posterior infiltración.

Sistema de transporte permeable: Se trata de sistemas cuya misión es transportar el agua pluvial hasta otro sistema de tratamiento o vertido, pero aportando en su camino una serie de ventajas. Entre sus aplicaciones destacan:

- **Drenes filtrantes, cunetas verdes y franjas filtrantes:** Son sistemas de tipo lineal que se suelen aplicar en los laterales de los caminos. La diferencia entre el dren y la zanja, es que la zanja tiene como misión transportar el agua hasta la siguiente cadena de gestión y el dren permite el almacenamiento temporal para su posterior infiltración en el terreno. Cualquiera que sea el sistema que se emplee, se puede dotar a la zona urbana un aspecto estético agradable.
- **Las cunetas verdes** son canales naturales que permiten la recogida y transporte de las aguas de lluvia, presentando acabados como cantos rodados, césped y vegetación de ribera. Este sistema no suele emplearse en el centro de las ciudades debido a que necesitan espacio, resultando muy aconsejadas en zonas residenciales y de travesía debido a su valor estético.
- **Las franjas filtrantes** están formadas por vegetación capaces de tratar la escorrentía superficial mediante procesos físicos y químicos, prácticamente asimilables a los procesos de depuración. No son indicadas en ciudades o lugares con baja capacidad de espacio. Suelen estar en las márgenes de las calzadas y previo a las cunetas verdes, que son los que se encargan del transporte.

Sistema de tratamiento pasivo: Son sistemas que están situados al final de la red, almacenando las aguas por un tiempo, para su posterior vertido al medio receptor. Entre estos sistemas de tratamiento podemos indicar: los depósitos de detención, los estanques de retención y los humedales artificiales. Estos sistemas utilizados en el final de línea requieren de bastante espacio para poder realizar los tratamientos correspondientes, recurriéndose a parques y bosques, posibilitando la generación de paisajes urbanos.

- Los **depósitos de detención** son depresiones (vegetadas) sobre el terreno cuya misión es almacenar el agua procedente de la escorrentía, proporcionando una laminación de las puntas

de caudal para posteriormente tratar el volumen captado. Este tratamiento se asemeja a los tanques de tormenta convencionales pero con un diseño paisajístico. Este sistema permite mejorar la calidad del agua al permitir la retención de sedimentos.

- Los estanques de retención son iguales que los depósitos de detención pero con una lámina de agua permanente y con presencia de abundante vegetación. Estos estanques proporcionan tratamiento tipo biológico, con degradación de contaminantes y fijación de metales pesados.
- Los humedales artificiales son unas áreas de tierra con vegetación que pueden estar ocasionalmente o permanentemente llenos de agua. Tienen una gran diversidad de plantas y animales. La vegetación acuática es la alternativa natural a las depuradoras artificiales.

También existen otros tipos de técnicas convencionales que engloban dos tipos de sistemas: con retención y con detección de agua. En la detención del agua se almacena temporalmente la escorrentía con objeto de reducir las descargas punta, y con ello se laminan los hidrogramas. Tras ese corto periodo de tiempo el agua es conducida hacia el alcantarillado o cursos de agua naturales. Este tipo de instalaciones se vacían completamente después de la lluvia. En los sistemas con retención el agua de lluvia se almacena un tiempo superior al sistema anterior y su incorporación al ciclo hidrológico se realiza mediante infiltración, percolación o evapotranspiración y ni de forma directa a los cursos de agua. A continuación se indican varios modelos de técnicas convencionales ampliamente utilizados:

Depósitos aliviadero: Se caracterizan por construirse en hormigón armado y ofrecer gran flexibilidad de construcción en su geometría, ofreciendo la ventaja de construir sus paredes en hormigón armado y verticales. Entre sus desventajas destaca el alto coste de construcción. Estos depósitos se pueden ubicar en zonas aisladas impidiendo el acceso a los ciudadanos. Cuando se construyen enterrados y en núcleos densos, puede utilizarse su cubierta para la construcción de áreas de ocio. Encuentra su principal aplicación en sistemas unitarios con la EDAR situada aguas abajo del sistema. Entre las funciones que realiza este tipo de infraestructuras podemos señalar las siguientes:

- Homogeneizar y laminar los caudales que se dirigen a la depuradora, reduciendo los valores punta del caudal que llega a la depuradora.
- Reducir los contaminantes que llegan al medio receptor, gracias a la captura de las primeras aguas de escorrentía.

Una vez captada el agua se puede seguir con un proceso de tratamiento o no, dependiendo del grado de explotación al que queramos llegar. En sistemas separativos esta técnica puede utilizarse cuando queramos dar un tratamiento aunque simplemente sea una decantación a las aguas de lluvia, antes de verterlas en el cauce.

Se distinguen dos tipos de depósitos aliviadero, los depósitos aliviadero con tanque de primer lavado y los depósitos aliviadero con tanque de sedimentación.

En los depósitos aliviadero con tanque de primer lavado su función es almacenar las primeras aguas de lluvia, que se suponen que son las más contaminadas. Estos depósitos se pueden conectar al alcantarillado en línea o fuera de ella.

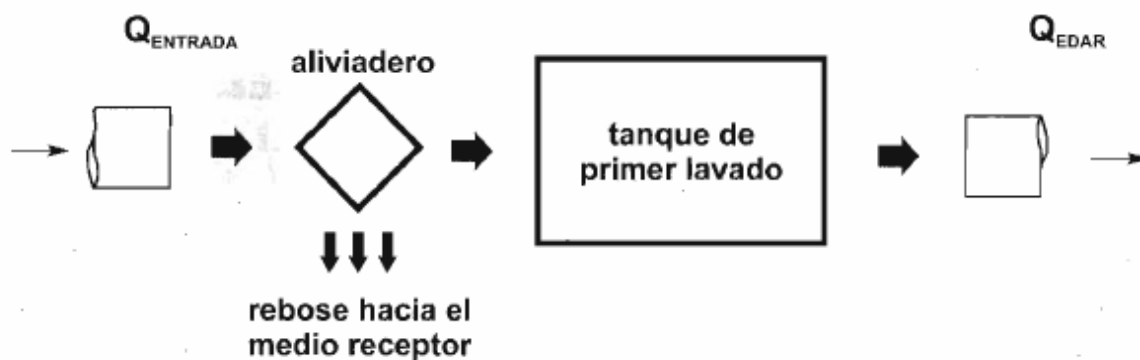
Depósito retención con tanque de primer lavado en línea: En este tipo de depósitos el agua residual siempre pasa por el depósito, estando equipado en su salida con una serie de válvulas reguladoras, que su función es precisamente regular el caudal de salida, siempre menor que el de entrada. En principio el caudal de entrada pasa a través del depósito sin detenerse hasta que el caudal de entrada es mayor que el de salida, momento en que empieza a almacenarse agua en el tanque. Una vez que se llena y sigue lloviendo el agua de escorrentía se alivia antes de la entrada en el depósito. Con este tipo de depósitos la escorrentía de las lluvias menores y más frecuente reciben tratamiento y para las lluvias mayores únicamente reciben tratamiento las aguas de primer lavado o más contaminadas, mientras que el resto no se tratará. Cuando deja de llover, el depósito se vacía hacia la depuradora. Este tipo de depósitos presenta las siguientes ventajas y desventajas:

- Ventajas:

- Existencia de un único aliviadero
- Disposición sencilla de tuberías
- Normalmente se vacía el depósito por gravedad.
- Gran flexibilidad de diseño

- Desventajas:

- Los flotantes se verterán fuera del sistema.



Esquema de un depósito-aliviadero con tanque de primer lavado en línea.

Los SUDS en relación con el funcionamiento de una EDAR:

El funcionamiento y la explotación de una EDAR se ve afectado por los caudales generados por las lluvias y las variaciones en los tipos, en las cargas y en las concentraciones de los contaminantes. La magnitud de los efectos negativos dependen de una serie de factores: la antigüedad y estado de la red

de alcantarillado, del nivel de las aguas subterráneas en las proximidades de la red, los focos de entrada de aguas de escorrentía, la capacidad de almacenamiento en la res, la explotación de las DSU, la capacidad de los principales procesos de la EDAR y las estrategias de explotación empleadas durante la época de lluvia.

Los excesos de caudal pueden afectar a los sistemas de tratamiento y provocar que el efluente de la EDAR no cumpla con los límites de vertido exigidos. Las soluciones pueden pasar por cambios en las técnicas de explotación, por adicionar elementos complementarios (tanques de tormenta) o por modificar los diseños de la planta. Los cambios en el control de procesos pueden ser la dosificación de reactivos para mejorar la decantación primaria o la modificación del caudal de recirculación de fangos en el tratamiento secundario.

La mayoría de las depuradoras están diseñadas para tratar parte del agua de lluvia, así la capacidad hidráulica de las plantas es entre 4 y 6 veces el caudal medio horario en tiempo seco, pero otros aspectos, como el nivel de las aguas subterráneas que se infiltran en la red, el nivel de los ríos, el grado de saturación de suelo, etc, influirán en el caudal que llega a la EDAR durante una tormenta.

En el Anejo 6 se hace una breve revisión de los posibles problemas que se generarán en las distintas etapas de la EDAR.

5-SELECCIÓN DE LAS TECNICAS DE DRENAJE MÁS ADECUADAS.

Una vez planteados los principales problemas a resolver, desde un punto de vista técnico, y analizadas las principales herramientas disponibles, es importante también establecer los criterios adecuados para seleccionar la mejor solución a cada caso concreto.

A la hora de emplear cualquier técnica es necesario atender primeramente a una serie de condicionantes físicos y disponibilidad de recursos como pueden ser: permeabilidad del terreno, pendiente, si es zona sensible, uso del agua, calidad del agua... Además, también hay que tener en cuenta el tipo de explotación y mantenimiento que se hará de ellos. Por tanto hay que atender el tipo de control que se hará sobre ellos, clasificándolos en:

- Control local: solo un dispositivo
- Control regional: funcionamiento coordinado de varios controladores locales
- Control global: funcionamiento coordinado de varios controles regionales.

Si no se realiza una gestión global de la cuenca no se proporciona protección contra los caudales máximos.

El control regional se emplea para cuencas de 25 a 250 Ha, presentando las siguientes ventajas respecto al control local:

- Economías de escala. Es más fácil construir y explotar.

- Están administradas por el sector público.
- Emplean sistemas de desagüe con zonas para regular y tratar las lluvias más frecuentes.
- Como suelen ocupar zonas amplias, son compatibles con zonas de recreo y espacios libres.

Otra alternativa para la gestión de las aguas de escorrentía urbana, son las tecnologías de desarrollo de bajo impacto, SUDS, denominadas por EPA-US como LID “Low Impact Development” . Las principales características de este tipo de tecnologías son las siguientes:

- Se centran en no modificar la hidrología natural de las cuencas. Para ello se centran en desarrollos urbanísticos con pocas áreas impermeables, empleándose canales abiertos y naturales para transportar las aguas de escorrentía contribuyendo a mantener los parámetros naturales de la cuenca como son la infiltración, recarga de acuíferos, volumen de vertidos en medio natural.
- Con este sistema se reduce la formación de escorrentía y se aumenta la recarga de acuíferos.
- Se emplean pequeñas unidades de control, con lo cual se reduce la escorrentía de pequeñas zonas, muy cerca del origen de la contaminación. Por este motivo se pueden eliminar los sistemas de controles regionales o centralizados.

Por tanto, al definir un sistema de tratamiento u otro dependerá de qué objetivo se pretende conseguir, como por ejemplo:

- Fijar el porcentaje de un contaminante concreto que debería capturarse y tratarse.
- Reducir el número de reboses del alcantarillado unitario no tratados a un número específico.
- Rendimiento en la eliminación de contaminantes del control de caudales aliviados.
- Captura y tratamiento de una parte determinada del caudal aliviado que contengan la mayor fracción de la carga contaminante.
- Basar el análisis de una unidad de control en un análisis coste-beneficio

Sobre la eficacia de los distintos sistemas de tratamiento, los rendimientos medios alcanzados por las distintas técnicas (US-EPA, 2002)

TDUS	SST	P _{total}	P _{soluble}	N _{total}	NO _x	Cu	Zn
Estanque de detención	47	19	-6	25	4	26	26
Estanque de retención	80	51	66	33	43	57	66
Humedales	76	50	35	30	67	40	44
Sistemas infiltración	95	70	85	51	82	N/D	99
Filtros de arena	86	59	9	38	-14	49	88
Canales vegetales	81	34	38	8	31	51	71

- CAPÍTULO 7 -

LA GESTIÓN DE LAS AGUAS PLUVIALES DESDE UNA PERSPECTIVA DE ORDENACIÓN DEL TERRITORIO Y DEL PLANEAMIENTO URBANÍSTICO

1- INTRODUCCIÓN.

Las ciudades ha incrementado enormemente las presiones que ejercen sobre la gestión de las aguas pluviales en entornos urbanos: el constante crecimiento de la trama urbana, los cambios en la población, nuevos hábitos, nuevas normas, leyes, ordenanzas, el cambio climático, etc. Esta situación exige aplicar nuevos marcos conceptuales que permitan afrontar los retos de la gestión de las aguas pluviales de forma integral, coordinando las acciones, las repercusiones y los intereses de todos los agentes y de todos los sectores implicados, directa o indirectamente, en esta gestión. En este sentido, en este capítulo se reflexiona sobre la idoneidad de la Ordenación del Territorio como ese marco conceptual amplio que puede dar respuesta a esa visión integral buscada en este trabajo.

Sin embargo, en la actualidad, la única coordinación que realmente se establece entre la gestión de las aguas pluviales y esta dimensión territorial es a través del planeamiento urbanístico. Por ello, se analizan también cuales son los principios fundamentales del urbanismo existente y el modelo de uso de suelo que se está empleando en la actualidad, estableciendo y proponiendo distintas actuaciones para mejorar el drenaje urbano en este contexto.

2- LA ORDENACIÓN DEL TERRITORIO.

Tal y como establece Leandro del Moral (Moral, 2009), discutir sobre política de agua significa poner en discusión las formas de ocupación del territorio propias del modelo de desarrollo en vigor en cada momento. De ahí, la complejidad a la vez que la profunda significación territorial del debate sobre el agua.

En este sentido, el análisis de la gestión de las aguas pluviales debe también plantearse con los parámetros de la Ordenación del Territorio¹, en el marco de una estrategia territorial de referencia.

¹La ordenación del territorio es «la acción y la práctica de disponer con orden, a través del espacio de un país y con una visión prospectiva, los hombres, las actividades, los equipamientos y los medios de comunicación que ellos pueden utilizar, tomando en consideración las limitaciones naturales, humanas, económicas o incluso estratégicas» (Gómez Bahillo, 2003).

Hacerlo así garantiza que cualquier mejora en la gestión de estas aguas repercutirá en la mejora de la sostenibilidad del modelo de desarrollo territorial. Este cambio de perspectiva, que ya ha tenido lugar en la gestión de caudales extremos, donde el problema de las inundaciones se ha trasladado del campo de las infraestructuras al de la ordenación territorial, tiene que darse también en la gestión de las aguas pluviales en entornos urbanos. De este modo, la cooperación y coordinación de todas las políticas sectoriales con incidencia territorial y de los actores sociales implicados, en el marco de la Ordenación del Territorio, debe incorporar, entre otros muchos contenidos hidrológicos, la articulación territorial de los sistemas de drenaje de las aguas pluviales.

La incorporación del drenaje urbano en este marco conceptual permite superar esquemas tradicionales que establecen como prioridad de gestión la eliminación de las aguas pluviales de una determinada zona, sin considerar impactos a una escala urbana mucho mayor. La ordenación del territorio permite afrontar los problemas a una mayor escala, evitando situaciones tales como la falta de capacidad para gestionar las pluviales en otras partes del sistema situadas aguas abajo que. Del mismo modo, se pueden modificar las estructuras de gestión, buscando un enfoque más integral y coordinando las actuaciones de los distintos sectores de la ciudad que están afectados por esta gestión o que influyen en ella: las viviendas, las carreteras, los parques, el tratamiento de las aguas fecales, etc.

3- PLANTEAMIENTO URBANISTICO.

En el planteamiento urbanístico, a través de las figuras de planeamiento (planes generales, planes parciales o especiales), además de describir e informar de los usos del suelo, debe de hacerse una extensión al subsuelo urbano, incorporando al equipo redactor expertos en hidrología urbana.

Como consecuencia de la actividad urbanizadora, los cauces naturales que conformaban la red hidrográfica original suelen ser profundamente alterados afectando a su capacidad de desagüe, propiciando la existencia de inundaciones o graves impactos al medio receptor por reboses de los sistemas de saneamiento.

La urbanización aparece así como un proceso de alteración de las condiciones originarias del medio natural que afecta de distinta manera a los diferentes factores: climático, topográficos, características superficiales del suelo y vegetación.

En un medio urbano, resolver los problemas de las inundaciones e impactos al medio por reboses en las redes de saneamiento, puede suponer una gran inversión económica y técnica o puede resolverse mediante medidas complementarias como baldeo de calles, SUDS, planificación urbanística,

medidas que no requieren grandes inversiones. Por tanto debe de abordarse el problema desde un enfoque integrado, coordinando planificación urbanística, infraestructuras, participación ciudadana,...

El aspecto más evidente del proceso urbanizador es el aumento de la escorrentía, ya que se pasa de suelos con vegetación, capacidad de almacenamiento y filtración de agua a suelos con una elevada impermeabilidad, produciendo un aumento de los volúmenes de escorrentía y un aumento de las velocidades de los flujos naturales, reduciendo los tiempos de concentración, produciendo temperaturas más altas, caudales de base más bajos durante la época de estiaje y niveles de contaminación mayores. Estos efectos tienen consecuencias drásticas en cuanto a los volúmenes y caudales punta que se producen en la red de alcantarillado.

Si el sistema de saneamiento es separativo la contaminación que es arrastrada por las aguas de escorrentía, que procede tanto de las actividades que se desarrollan en la superficie de la cuenca como de la resuspensión de sedimentos en la red, será vertida directamente al medio receptor, pudiendo causar impactos significativos. Si la red es unitaria, se producirán reboses en los aliviaderos, introduciendo a los medios receptores cargas importantísimas (partes provenientes de los caudales de residuales circulantes en el momento del suceso de lluvia, parte de la contaminación de la superficie de la cuenca y parte de los sedimentos acumulados en tiempo seco dentro de la red).

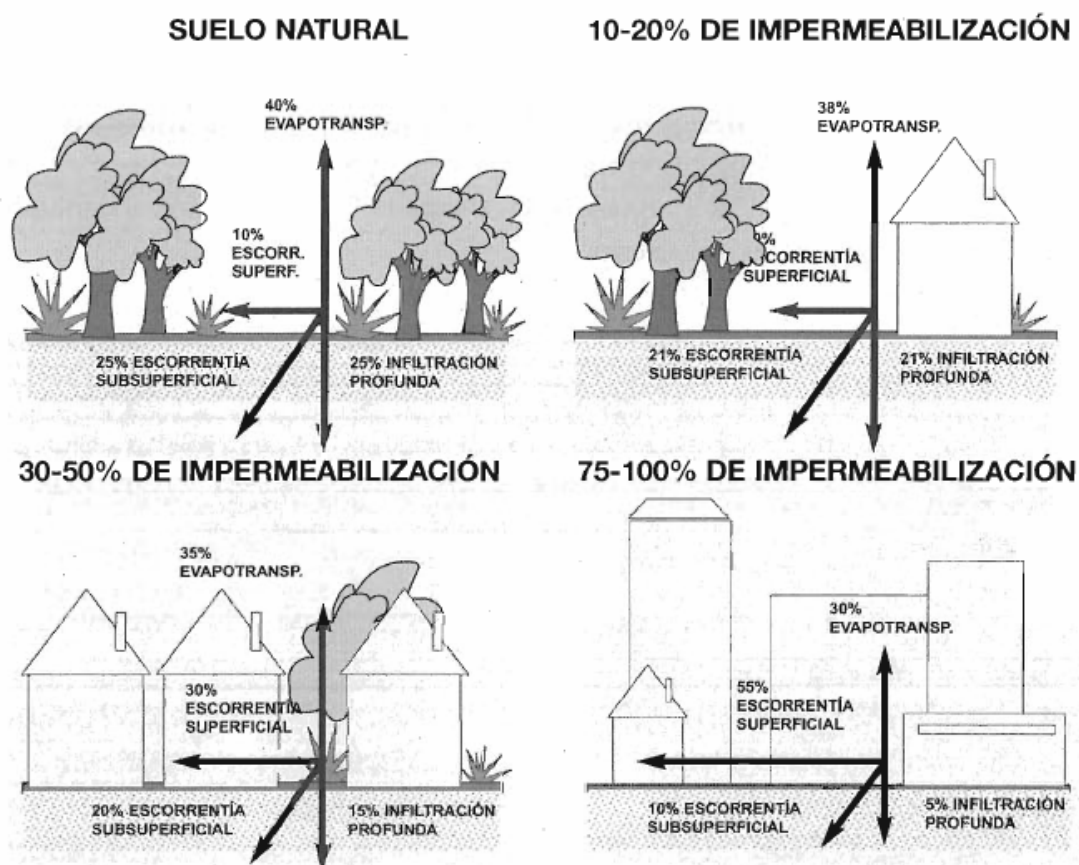


Figura 1.7. Efectos de la impermeabilización sobre la escorrentía y la infiltración (adaptado de Arnold y Gibbons, 1996).

Además estas sobrecargas hidráulicas y variaciones de concentración de contaminación que se generan en la red de alcantarillado también llegan a la EDAR produciendo alteraciones que acabarán afectando a los rendimientos de la depuradora.

Con esta problemática se ha generado una concienciación en la línea de que es imprescindible realizar una planificación del saneamiento urbano que permita cumplir sus tres funciones esenciales:

- Protección ante inundaciones
- Protección ambiental del medio receptor
- Protección sanitaria de los habitantes de ciudad

Este debe de ponerse patente en las primeras fases de planificación territorial, ya que el urbanismo puede verse condicionado por el tipo de gestión que se haga del agua.

En muchas ocasiones las ciudades suelen crecer desde el casco antiguo hacia las zonas situadas a mayor cota, lo cual se traduce en un aumento del caudal que debe de atravesar el casco urbano más antiguo, lo que obliga a aumentar la capacidad de los grandes ejes, o realización de interceptores o desvíos de caudales. Esta situación es frecuente en ciudades situadas frente al litoral, las cuales crecen hacia el interior. Este problema se ve agravado cuando se presentan precipitaciones de corta duración pero de intensidad extrema, caso frecuente en todo el Mediterráneo.

4- PROBLEMÁTICA DEL USO DEL SUELO.

En el subsuelo se instalan todas las redes de servicios (agua, electricidad, teléfonos, control de circulación, fibra óptica, recogida neumática de basuras, etc.) sin ningún tipo de planificación, mezclándose con infraestructuras de transporte (líneas de metro, ferrocarriles, aparcamientos subterráneos,...), atendiendo todas y cada una de ellas al criterio de el primero en llegar es el primero en instalarse, careciendo de ningún tipo de ordenación, razón por la que deberían incluirse en todos los instrumentos urbanísticos. Hay que indicar que la utilización del subsuelo debe de ordenarse conjuntamente con la ordenación del suelo, estableciendo prioridades en su uso.

El coste nulo de la ocupación del suelo y las buenas prestaciones que ofrece, al disponer de espacio a diferente nivel, han hecho que las instalaciones hidráulicas sean las primeras en ocupar el subsuelo y las más necesarias. Sin embargo cada vez encuentran más dificultades para instalarse y los condicionantes topográficos que este tipo de instalaciones exige, ya que las tuberías cuyo funcionamiento es por gravedad deben discurrir necesariamente por determinados puntos. Lo mismo ocurre con los puntos de vertido, de tal manera que combinar tuberías por gravedad y puntos de vertido, exige un planeamiento urbanístico previo, que actualmente no existe, ya que aunque hay planes generales de los municipios y planes sectoriales, nunca se plantea el planeamiento urbanístico a nivel de subsuelo, siempre se queda a nivel de calle.

Todo esto hace que en algunas ocasiones sea demasiado tarde para ubicar determinadas infraestructuras en el subsuelo, de hecho el uso de galerías de servicios obedece al deseo de introducir un elemento de racionalidad en el uso del subsuelo.

Por tanto indicar que la falta de planificación global que permita coordinar la implantación de las diferentes infraestructuras y canalizaciones, tiene una consecuencia clara, un elevado coste social.

5- LEGISLACION URBANISTICA.

El vertido de las aguas pluviales en las zonas urbanas es competencia de los Ayuntamientos, apareciendo el primer problema ya que los cauces afectan a varios municipios. No existe legislación que resuelva este problema desde una visión o planteamiento global de la red, ya que en las redes de alcantarillado contempladas en los Planes Parciales se obliga únicamente a estudiar si la red a la que se conecta tiene capacidad suficiente.

Por tanto en los instrumentos urbanísticos debería obligarse a un estudio pormenorizado de las redes de alcantarillado desde un punto de vista global, abarcando municipios colindantes. Todo esto se puede desarrollar en los Proyectos de urbanización, analizando la incidencia que en la red existente puedan tener los caudales procedentes de desarrollo urbano y en caso necesario la realización de

interceptores o el desdoblamiento de los colectores que resulten insuficientes. Todo este trabajo de determinación de puntos de vertido, red básica de colectores, desdoblamiento, etc debería hacerse a través de una figura que debería llamarse Plan de Alcantarillado y deberán incluir un estudio económico sobre dichas actuaciones.

También existe la posibilidad de redactar Planes Especiales para el desarrollo de infraestructuras básicas. Estos planes son de competencia municipal, aunque la resolución de problemas de evacuación de aguas pluviales requiere un ámbito superior al municipal, al afectar a varios municipios.

Además también se encuentran a faltar las vías de financiación que posibilite la resolución de los problemas de inundaciones en el medio urbano e impactos al medio receptor, pudiendo pensarse en la posibilidad de financiar las obras de grandes colectores a través de la imposición de contribuciones especiales.

Por tanto en la actualidad cuando se aborda un estudio de saneamiento debe de superarse la visión parcial de recogida de las aguas residuales y su posterior conducción hasta la masa receptora de agua. La visión actual debe de ser más global debiéndose hablar de sistema integrales e integrados de saneamiento. Es decir la planificación y la gestión deben de basarse en asumir nuevos puntos de vista. Los objetivos de mejora en el diseño y operación de los sistemas de saneamiento y plantas depuradoras se establecen en función de las necesidades percibidas.

Los objetivos, muy abiertos a debate, deben referirse claramente al uso potencial del agua y reflejaran la voluntad de pagar o invertir para obtener el buen estado ecológico de las aguas.

Los ingenieros, científicos y medioambientalistas deben unir sus esfuerzos, tanto en la fase de planificación como en las de diseño y explotación, para obtener el máximo beneficio en la gestión del sistema. Por tanto las mejoras finales, el cumplimiento de los objetivos con la máxima relación eficacia-coste, los beneficios por el uso de los sistemas acuáticos, así como la mejora o el mantenimiento de la calidad de los ecosistemas, deben ser apreciados por el ciudadano.

Por tanto un sistema de saneamiento debe ser operado con criterios de coste-eficacia para solucionar los problemas de drenaje y control de la contaminación, con unos objetivos de calidad y con unos estándares realistas con los usos de las aguas receptoras. La gestión se debe orientar hacia la calidad de las aguas receptoras, para facilitar su uso por el hombre y por su salud ecológica o ambiental.

6- ACTUACIONES PARA MEJORAR EL DRENAJE URBANO.

Con objeto de solucionar los problemas de inundación de drenaje urbano, se tiende a restituir de forma artificial el comportamiento natural de la cuenca, antes de urbanizar la ciudad. La solución de estos problemas se hace siguiendo dos comportamientos:

- Las actuaciones que tienen como objetivo incrementar la capacidad de desagüe de los colectores (sustituye a la red hidrográfica natural).
- Las actuaciones que tienden a disminuir la escorrentía (aumentar la retención superficial y la infiltración).

La capacidad de un colector está ligada a sus dimensiones y a la velocidad con la que se desplaza el agua en él. En zonas del casco urbano, la elevada densidad urbana, limita en gran medida las dimensiones de los nuevos colectores, además la velocidad está relacionada con la topografía, de tal forma que zonas costeras la ausencia de desniveles importantes topográficos suele ser un factor determinante, suponiendo una dificultad añadida el incremento de la capacidad de desagüe de una red de drenaje urbano.

En zonas costeras suele ser muy habitual recurrir a grupos de bombeo para solucionar este tipo de problemas, con el inconveniente de depender de un grupo de bombeo durante el corto espacio de tiempo en el que se presentan los caudales máximos en el colector. Este riesgo se podría eliminar en parte si se hace un correcto mantenimiento de las instalaciones.

La retención natural que tiene lugar en la superficie de una cuenca puede ser sustituida por depósitos o balsas de retención que almacenen temporalmente una parte de la escorrentía, para incorporarla lentamente a los colectores que desagüen en la estación de tratamiento de aguas residuales. Un inconveniente para la construcción de estas estructuras es la dificultad de disponer del espacio suficiente para incorporarla a la trama urbana.

Entre los sistemas de control y tratamiento de los reboses también se puede utilizar lo que en la literatura anglosajona se denomina “Best Management Practices” BMP, que consisten por ejemplo en la modificación de prácticas de diseño tradicionales o en la modificación de los hábitos (por ejemplo la limpieza viaria de una cuenca). Estas técnicas parten de una nueva concepción del urbanismo denominada Low Impact Development (LID) que aplica los principios del desarrollo sostenible al diseño urbano.

Una variante de los depósitos de retención es utilizar la capacidad de almacenamiento de la propia red de colectores cuando es suficientemente extensa. Para utilizar esta variante hay que dotar a la red de aquellos elementos de control, compuertas, para derivar agua de la red de colectores con problemas de capacidad a aquellos que presentan caudales bajos. Para realizar este tipo de operaciones en tiempo real hay que instrumentalizar toda la red, incorporando medidores de caudal y nivel, además de programas informáticos que permitan tomar decisiones rápidas.

Para disminuir la escorrentía aumentando la infiltración en ciudades muy pobladas y urbanizadas es tarea complicada, ya que los puntos más atacables son los parques, plazas, aparcamientos. Sin embargo en ciudades muy grandes este tipo de actuaciones no es suficiente para resolver los

problemas de drenaje. Por tanto los problemas de inundación y reboses en ciudades densamente pobladas pasan por la ampliación de la capacidad de desagüe de la red de colectores. Por tanto las actuaciones conjuntas de ampliación de redes de colectores, tanques de tormentas, SUDS, requieren a veces soluciones complejas que únicamente tienen solución desde enfoques integrados y coordinados.

- CAPÍTULO 8 -

LA GESTIÓN DE LAS AGUAS PLUVIALES DESDE UNA PERSPECTIVA ECONÓMICA

1- INTRODUCCIÓN.

En este capítulo se realiza una revisión bibliográfica de la gestión de las aguas pluviales desde una perspectiva económica. Así, se recopila información sobre cómo analizar los costes asociados a las técnicas de gestión habitualmente empleadas y los beneficios derivados de su aplicación. Por otro lado, se realiza un análisis crítico sobre el encaje de la perspectiva económica de la gestión de las aguas pluviales en el contexto de la Directiva Marco del Agua. Por último, se analizan los principales instrumentos financieros que se están empleando en países de la Unión Europea o en otros países para realizar una gestión racional de las aguas pluviales y para incorporar las técnicas de drenaje urbano sostenible en esta gestión.

2- ANÁLISIS DE LOS COSTES ASOCIADOS A LA GESTIÓN DE LAS AGUAS PLUVIALES.

El objetivo de este apartado es indicar cuáles son los principales costes asociados a las medidas de gestión de las aguas pluviales según las diferentes fuentes bibliográficas consultadas. Todos los estudios que hemos encontrado se refieren a costes de medidas estructurales. En este sentido, todos los costes asociados a las distintas medidas de control de las aguas pluviales se consideran que son costes de oportunidad (Committee on Reducing Stormwater Discharge, 2009). En el caso de la gestión de las aguas pluviales, los costes de oportunidad incluyen los costes directos necesarios para controlar y tratar las aguas de escorrentía tales como los costes de construcción, los costes anuales de operación y el coste de mantenimiento.

En la determinación de los costes hay que tener en cuenta tanto los recursos públicos como los privados empleados en la gestión de esas aguas. Además, en la estimación de estos costes de oportunidad también hay que incluir otros costes derivados de la gestión de las aguas pluviales; así, por ejemplo, la población se puede oponer a la creación de un estanque de retención en una zona residencial por motivos estéticos, por molestias ocasionadas por la presencia de insectos o animales, por seguridad, etc. En este caso, esta menor satisfacción por parte de los vecinos es un coste de

oportunidad asociado a esta infraestructura; del mismo modo, si las medidas adoptadas son consideradas favorablemente por la población, los costes de oportunidad decrecerán.

Costes de diseño y construcción: Son, en general, bien conocidos, sobre todo los relativos a las medidas que llevan empleándose más años. En algunos estudios, los costes se estiman estadísticamente para toda la obra, a partir de datos de infraestructuras de drenaje, retención o infiltración construidas recientemente; en otros, la estimación se basa en el coste de los principales elementos de la infraestructura. En cualquier caso, se observa que los costes de construcción por unidad de volumen de retención o de área de drenaje se reducen al aumentar el tamaño total de la infraestructura (Lambe, y otros, 2005). Los costes asociados a pequeñas actuaciones, como pueden ser tejados verdes, pavimentos permeables, etc., están menos estudiados.

Costes de explotación, mantenimiento y reparación: Las infraestructuras asociadas a la gestión de las aguas pluviales necesitan un mantenimiento cuyo coste, en muchos casos, ha sido ignorado, por lo que su conocimiento es menos preciso que en el caso de los costes de construcción. Sin embargo, a pesar de este desconocimiento, la mayor parte de las actuaciones realizadas para gestionar las aguas pluviales tienen elevados costes de mantenimiento que se prolongan a lo largo de toda la vida útil de la infraestructura. Algunos autores han llegado a cifrar que ese coste puede suponer entre un 15% y un 70% del coste de construcción, siendo menor esa proporción cuanto mayor es el coste de construcción de la obra (Committee on Reducing Stormwater Discharge, 2009). En la siguiente tabla se pueden observar las curvas de coste asociadas a distintas infraestructuras, tanto para los costes de construcción como los de mantenimiento, así como las superficies necesarias con cada una de las tecnologías (Wossink, y otros, 2011).

	<i>Wet ponds</i>	<i>Stormwater wetlands</i>	<i>Sand filters</i>	<i>Bioretention in clay soils</i>	<i>Bioretention in sandy soils</i>
Construction cost	$C=13,909X^{0.672}$	$C=3,852X^{0.484}$	$C=47,888X^{0.882}$	$C=10,162X^{1.088}$	$C=2,861X^{0.438}$
20-year maintenance cost	$C=9,202X^{0.269}$	$C=4,502X^{0.153}$	$C=10,556X^{0.534}$	$C=3,437X^{0.152}$	$C=3,437X^{0.152}$
Required surface area of BMP in acres					
<u>Residential development</u>					
• Piedmont (CN 80-90)	$SA=0.015X$	$SA=0.02X$		$SA=0.025X$	$SA=0.025X$
• Coastal Plain (CN 65-75)	$SA=0.0075X$	$SA=0.01X$		$SA=0.015X$	$SA=0.015X$
<u>Highly impervious area with CN 80</u>	$SA=0.02X$	$SA=0.03$		$SA=0.03X$	$SA=0.03X$
<u>100% impervious areas (CN 100)</u>	$SA=0.05X$	$SA=0.065X$	$SA=0.017X$	$SA=0.07X$	$SA=0.07X$

C=cost in \$; X=size of watershed in acres; SA=surface area of BMP in acres

Source: Wossink and Hunt (2003)

Tabla 8.1 Costes asociados a distintas infraestructuras (Wossink y otros, 2.011)

Por otro lado, en la siguiente tabla (Chouli, y otros, 2008), a partir de datos en Francia, se puede observar que los costes de explotación y mantenimiento asociados a sistemas de saneamiento con

actuaciones muy relevantes para la gestión de las aguas pluviales pueden llegar a ser del orden del 60% para el área metropolitana de Burdeos.

Site description	Bordeaux Metropolitan Area (26 municipalities)	SIARV (union of 17 municipalities south of Paris for sanitation)	Soisy-sur-Seine (municipality south of Paris)
Population (inhabitants)	660 000	250 000	7 000
Km WW system	1 697	659	24
Km combined system	796	3	2
Km SW system	1 247	551	23
Special installations	42 important public retention basins (~2 million cubic metres). 27 small retention basins adopted from private development projects (~ 10 000 cubic metres) 71 WW pumping stations (14 000 m ³ /h) 11 combined pumping stations (240 000 m ³ /h) RTC system	146 public pollution abatement installations treating only SW (sand separators, retention basins, oil separators, infiltrations pits, porous pavements)	Few open air retention basins maintained by the park service
WW O&M budget	28 M€	3.5 M€	150 K€
SW O&M budget	17 M€	0.75 M€	50 K€
%	60%	21%	33%

Tabla 8.2 (Chouli y otros, 2008)

En el cálculo de los costes de explotación y mantenimiento también habría que tener en cuenta los costes derivados de la aplicación de tecnologías de control en tiempo real, que últimamente se están implantando. Aunque la instalación de estos equipos tiene un elevado coste, las enormes ventajas que introducen en la gestión de las aguas pluviales pueden hacer que el coste global de todo el proyecto se vea muy reducido. En este sentido, existen experiencias muy positivas en Canadá, Alemania o Francia (IAHNe), donde la aplicación de estas tecnologías, gestionando los tanques de retención y los bombeos existentes con equipos de control en tiempo real, se evitan la mayor parte de las inundaciones urbanas y se reduce al mínimo la contaminación a los cauces.

Otra cuestión relacionada con los costes de mantenimiento es quién tiene que asumir estos costes. En algunos países de Europa como Francia, Dinamarca o Reino Unido muchas de las actuaciones para la gestión de las aguas pluviales se realizan por agentes privados, por lo que la viabilidad de estos proyectos es motivo de preocupación. Así, un estudio realizado en Seine, condado de St. Denis, Francia, demostró que el 60 % de los depósitos subterráneos estaban fuera de servicio 10 años después de su construcción debido a la falta de mantenimiento, o en Soisy-Sur-Seine, Francia, el 50% de las viviendas en las que se había instalado algún sistema de gestión de aguas pluviales en origen durante los años 80 o 90, en 2007 estaban conectadas a algún colector público de aguas pluviales (Chouli, 2007). En este sentido, es muy importante informar a esos agentes privados, individuales o colectivos, de la importancia de las infraestructuras de gestión de las aguas pluviales y de la necesidad de mantenerlas adecuadamente. Incluso, en estos casos, el mantenimiento debería ser realizado o inspeccionado por el gestor de la red pública, de tal manera que se garantice el buen funcionamiento de todo el sistema de alcantarillado (la parte privada y pública, tuberías e

instalaciones especiales). Estas inspecciones redundarían en gastos adicionales para quien controla, pero se garantizaría la sostenibilidad de los proyectos privados (Chouli, 2007).

Costes de los terrenos necesarios para ejecutar las obras: Estos costes dependen mucho de la ubicación concreta de las instalaciones, de si están en ámbitos urbanos o más rurales. En general, los análisis de costes indican que el coste necesario para tratar una determinada extensión o un determinado volumen de agua es menor para actuaciones a gran escala que a pequeña escala (Wossink, y otros, 2003), aunque el coste de los terrenos puede alterar este criterio general. Así, las actuaciones muy localizadas y de pequeña escala se pueden ubicar en terrenos de poco valor o integrados como parte de algún elemento de jardinería existente. En cambio, actuaciones más globales y a mayor escala pueden requerir la compra de propiedades urbanas de bastante extensión y elevado precio.

Otros costes: En este sentido, es importante señalar que es más cara la instalación de sistemas de control del drenaje de las aguas pluviales en entornos ya urbanizados, donde hay que modificar las infraestructuras existentes (colectores, alcantarillas, etc.), que no en donde la instalación de estos sistemas se realice donde no hay ningún tipo de infraestructura de drenaje previa (Committee on Reducing Stormwater Discharge, 2009).

3- ANÁLISIS DE LOS BENEFICIOS ECONÓMICOS DERIVADOS DE LA GESTIÓN DE LAS AGUAS PLUVIALES.

Algunos autores evalúan, en términos económicos, los beneficios derivados de una adecuada gestión de las aguas pluviales. Al igual que en el caso anterior, en este apartado realizamos una revisión bibliográfica de cómo estimar estos beneficios económicos.

Los pocos trabajos que hemos encontrado en esta línea, analizan los beneficios en términos de daños evitados (Sorarrain, 2003) o como externalidades positivas (Bowers, y otros, 2000). En cualquier caso, hay que conocer el origen del problema, el ámbito espacial, la cuenca o subcuenca, y la magnitud de los fenómenos a mitigar asociados a una determinada recurrencia.

En este sentido, una de las primeras tareas a realizar consistirá en una exhaustiva identificación de posibles daños por las posibles inundaciones y la contaminación del medio receptor. Hay que realizar una previsión preliminar de la magnitud relativa de los daños, que serán clasificados en tres categorías: altos, medios y bajos, según el previsible impacto a nivel de cada cuenca.

La posibilidad de medir los daños en forma objetiva determina la tangibilidad del daño. Una primera categorización a realizar consistirá en diferenciar los daños/externalidades en tangibles, parcialmente tangibles e intangibles.

A su vez, para algunos autores, los tangibles, serán clasificados en directos e indirectos (Sorarrain, 2003). En estos casos, los primeros suelen incluir:

- daños por evacuaciones, atención de la emergencia y actividad económica
- daños a la infraestructura urbana y pertenencias públicas y privadas

y los segundos se suelen valorar en un 20% de los primeros.

Los daños intangibles son daños difíciles de calcular pero que se asocian a las pérdidas económicas motivadas por la pérdida de vidas y los daños a la salud de la población, las secuelas del estrés y la preocupación permanente de los sectores de la población frecuentemente afectados por las inundaciones pluviales en sus viviendas, las consecuencias del cierre de una playa por un alivio de la red de colectores.

En el caso de las externalidades, Bowers y Young (Bowers, y otros, 2000) proponen distintos métodos para evaluar las externalidades en la gestión de las aguas asociadas a las actividades productivas, a los bienes inmuebles (públicos o privados) que se pueden ver dañados, a la actividad pesquera, a los usos recreativos, al turismo, a la salud o a la biodiversidad. Además, para estos autores, en relación con la gestión de las aguas pluviales, la afección a las actividades productivas, recreativas, a los bienes inmuebles y a la salud son externalidades negativas, pero su gestión puede producir externalidades positivas sobre la biodiversidad y sobre la atracción de los espacios.

En todo caso, además de la consideración de los daños evitados, tangibles o intangibles, también hay que tener en cuenta los beneficios medioambientales que suponen una adecuada gestión de las aguas pluviales. Si bien existen procedimientos para la valorización de tales beneficios, como por ejemplo a través del cómputo del coste de las acciones para la restitución del estado antecedente, del mantenimiento de medidas de prevención, que compensen la ausencia de paquetes de medidas estructurales y no estructurales del Proyecto, etc. Pero en la mayor cantidad de los casos, los beneficios por reducción o eliminación de daños ambientales, podrán ser estimados a través de procedimientos semicuantitativos, que definan órdenes de magnitud u órdenes de magnitud relativos.

4- APLICABILIDAD DE LA DIRECTIVA MARCO DEL AGUA EN ESTE CONTEXTO.

Las políticas ambientales en la Comunidad Europea son un campo en el que, en general, se utiliza gran variedad de instrumentos económicos. Uno de los principales ejemplos de ese tipo de políticas tiene su reflejo en la directiva marco europea del agua (DMA - Directiva 2000/60/CE), donde se espera que, a través de la aplicación de distintos instrumentos económicos, se proporcionen incentivos adecuados para la utilización sostenible de los recursos hídricos, apoyando así el logro de los objetivos medioambientales establecidos en virtud de la DMA.

Así, la DMA integra de una forma clara la economía en la gestión del agua y en el proceso de toma de decisiones. El objetivo último de los análisis económicos es aportar elementos de apoyo a la toma de decisiones para alcanzar los objetivos medioambientales. Por ello, entre los estudios requeridos por el artículo 5 se encuentra el **análisis económico de los usos** (presentes y futuros) **del agua**, que permite entender las relaciones entre el funcionamiento de la economía y el estado del medio ambiente².

En este sentido, el primer apartado del artículo 9 de la DMA establece que *los Estados miembros tendrán en cuenta el principio de la recuperación de los costes³ de los servicios relacionados con el agua, incluidos los costes medioambientales y los relativos a los recursos, a la vista del análisis económico efectuado con arreglo al anexo III, y en particular de conformidad con el principio de que quien contamina paga.*

Por otro lado, el mismo artículo también indica que los Estados miembros garantizarán, a más tardar en 2010:

- 1- Que la política de precios del agua proporcione incentivos adecuados para que los usuarios utilicen de forma eficiente los recursos hídricos y, por tanto, contribuyan a los objetivos medioambientales de la presente Directiva.
- 2- Una contribución adecuada de los diversos usos del agua, desglosados, al menos, en industria, hogares y agricultura, a la recuperación de los costes de los servicios relacionados con el agua, basada en el análisis económico efectuado con arreglo al anexo III y teniendo en cuenta el principio de que quien contamina paga.

Al hacerlo, los Estados miembros podrán tener en cuenta los efectos sociales, medioambientales y económicos de la recuperación y las condiciones geográficas y climáticas de la región o regiones afectadas.

Por lo tanto, se establece la necesidad de tener en cuenta el **principio de recuperación de costes⁴** de los servicios del agua, aplicar el **principio de quien contamina paga** y que la **política de precios** del agua se diseñe con el objetivo de **proporcionar incentivos** para el uso eficiente del agua; además, se requiere que los distintos usos hagan una contribución adecuada a la **recuperación de los**

² El objetivo de estos análisis es dotar de una base empírica suficiente a la incorporación de los criterios económicos en momentos posteriores del proceso de planificación y gestión; más concretamente la aplicación del principio de recuperación de costes (Art. 9) y el análisis coste eficacia del programa de medidas (Art. 11).

³ El proyecto inicial de la directiva planteaba la aplicación del principio de la **recuperación íntegra** de costes. La versión finalmente aprobada prescinde del término íntegra.

⁴ La aplicación práctica de este principio exige una determinación exhaustiva de los costes que generan los servicios del agua, una propuesta de imputación a los diversos sectores económicos en función de los usos del agua que les son propios y el establecimiento de un sistema de precios que, por un lado, *proporcione incentivos adecuados para que los usuarios utilicen de forma eficiente los recursos hídricos*, y por otro, en aplicación del principio de quien contamina paga, cubra los costes que generan los servicios relacionados con el agua.

costes de los servicios relacionados con el agua. El artículo 9 de la DMA también especifica que el principio de recuperación de costes ha de considerar no solo el coste financiero de los servicios sino también los **costes ambientales y los del recurso**⁵. En este contexto, los costes ambientales están relacionados con las externalidades generadas que fundamentalmente se dan en el proceso de extracción y vertido y siempre y cuando éstas afecten a otros usuarios o a los servicios ambientales de los ecosistemas hídricos.

Por otro lado, el segundo apartado del artículo 9 de la DMA indica que *Los Estados miembros incluirán en los planes hidrológicos de cuenca información sobre las medidas que tienen la intención de adoptar para la aplicación del apartado 1 y que contribuyan al logro de los objetivos medioambientales de la presente Directiva, así como sobre la contribución efectuada por los diversos usos del agua a la recuperación de los costes de los servicios relacionados con el agua.*

En relación con los programas de medidas, este análisis económico debe contener, según establece la DMA en su artículo 5 y anexo II, apartado b, la suficiente información lo suficientemente detallada (teniendo en cuenta los costes asociados con la obtención de los datos pertinentes) para estudiar la combinación “más coste-eficaz” de medidas que deben incluirse en el programa de medidas de conformidad con el artículo 11, basándose en las previsiones de los costes potenciales de dichas medidas. Este es el punto en el que la DMA introduce el análisis coste-eficacia como una herramienta de apoyo a la decisión para diseñar y seleccionar el programa de medidas de cada Demarcación (Maestu, y otros, 2007).

Dificultades en la aplicación de la DMA: A pesar de lo indicado anteriormente, desde una perspectiva económica, la aplicación de la DMA en el contexto de la gestión de las aguas pluviales no es sencilla. En primer lugar, porque la propia DMA, en su artículo 2, deja fuera de la definición de los *servicios relacionados con el agua* a las redes de drenaje de aguas pluviales. Esto dificulta claramente las metodologías existentes para estimar el grado de **recuperación de costes**. Además, si no se hubiese eliminado del texto de la DMA la recuperación íntegra de costes, se podrían incluir en ellos las externalidades analizadas anteriormente. En este sentido, la recuperación de costes debería tener en cuenta no sólo el coste de gestionar las aguas pluviales, sino también la posibilidad de fallo del sistema y los impactos que esos fallos pueden generar sobre valores tangibles e intangibles para la sociedad.

Dificultades en la aplicación del principio de que *quien contamina paga*. Del análisis de los factores clave en la gestión de las aguas pluviales (pluviometría, geomorfología, permeabilidad del

⁵ El texto legal no especifica qué debe entenderse por coste ambiental y del recurso, tan solo establece la obligatoriedad de recuperarlos junto con los costes *financieros* de los servicios del agua. La guía Wateco interpreta costes como daños. Con ello se desplaza el análisis de los costes (de evitación, mitigación o restauración) al valor económico de los daños ambientales.

terreno y estructura de las superficies impermeables, y actividades contaminantes) y de la estructura de los costes y beneficios analizada en los apartados anteriores, se pueden extraer algunas conclusiones sobre la posibilidad de aplicar en este contexto el *principio de que quien contamina paga*.

Así, algunos de los factores clave en la gestión de las aguas pluviales, como pueden ser el porcentaje de superficie impermeable o las diferentes actividades contaminantes realizadas, pueden ser controlados a través de distintos instrumentos políticos (medidas de ordenación del territorio y urbanismo, incentivos financieros, etc). En este sentido, el principio de que *quien contamina paga* es aplicable. Para poder aplicar este principio es importante tener en cuenta todos los costes asociados a la gestión de las aguas pluviales, no sólo los costes de diseño y construcción, sino mantenimiento, rehabilitación, control, etc. Para poder aplicar este principio, los nuevos desarrollos urbanos o, en general, cualquier actividad nueva que suponga una alteración de algún aspecto del ciclo hidrológico, deberían pagar por las infraestructuras de gestión de aguas pluviales necesarias para no provocar contaminación directa o indirecta derivada de la escorrentía, internalizando estos costes como parte de los costes del propio desarrollo. La aplicación de este principio también implicaría que todas las actividades potencialmente contaminantes contribuyesen económicamente a evitar estas posibles contaminaciones. En un ámbito urbano, se podría crear un impuesto que tuviese en cuenta la superficie impermeable y la importancia de la contaminación que se puede producir.

Sin embargo, aunque la aplicación de este principio puede ser eficaz para reducir la generación de nueva contaminación derivada de la escorrentía de las aguas pluviales y para reducir los volúmenes de escorrentía existentes, su aplicación es delicada y compleja. El primer motivo es que, hasta ahora, la aplicación de cualquier medida de gestión de las aguas pluviales se ha implementado siempre sin un pago directo, por lo que se ha percibido como un servicio público, aunque finalmente lo paguemos entre todos; la aplicación de cualquier impuesto para adoptar estas medidas sería impopular, por lo que los políticos serían reacios a su aplicación. Por otro lado, aunque se fomenten medidas complementarias (desgravaciones u otras) para que las aguas pluviales se autogestionen y se controlen en origen, los costes de mantenimiento y explotación de las instalaciones ya ejecutadas no disminuirían al desconectarse los usuarios. Además, es difícil que con un control exhaustivo de las aguas pluviales en origen se pueda gestionar adecuadamente cualquier situación meteorológica, por lo que las instalaciones a gran escala seguirían siendo necesarias.

Otro aspecto a tener en cuenta al analizar la posibilidad de aplicar el principio de que *quien contamina paga* en el ámbito de la gestión de las aguas pluviales es que se pueden dar desigualdades geográficas muy destacadas, primando las ciudades, o las zonas de las ciudades, ubicadas en las

partes más elevadas de las distintas cuencas hidrográficas, donde los problemas con las aguas pluviales son mucho menores.

Por último, en la aplicación de este principio también hay que tener en cuenta que una parte de los agentes implicados en los daños ocasionados por las aguas pluviales no es controlable. Tanto la pluviometría como la geomorfología no se pueden manipular ni controlar. Por ello, intentar trasladar a los demás agentes (actividades contaminantes) la responsabilidad sobre todo el proceso de gestión de las aguas pluviales tampoco parece muy razonable.

Dificultades en la aplicación de una política de precios que proporcione incentivos adecuados para el uso eficiente del agua. Los incentivos económicos son una buena herramienta para gestionar las aguas pluviales y la DMA un marco conceptual adecuado para implementarlas. La aplicación de una política de precios acertada debería velar, con las limitaciones vistas anteriormente, por el cumplimiento del principio de quien contamina paga y, en la medida de lo posible, por la recuperación de costes.

En este sentido, sería importante, en donde haya redes separativas, que las cargas fiscales asociadas a ambas sean independientes. En todo caso, estas cargas deberían aumentar con la superficie de las cubiertas recogidas o, mejor aún, con el área impermeable total recogida. Además, deberían existir recargos, por ejemplo, por cubiertas metálicas que pueden añadir metales pesados a las aguas pluviales, que se calcularían a partir del coste del tratamiento necesario.

Además, cualquier carga impositiva debería ir acompañada de desgravaciones fiscales que premiasen a quien tome medidas para reducir la contaminación generada (control de la contaminación en origen, materiales de construcción permeables, técnicas de reutilización de aguas pluviales, etc).

El problema de la contaminación de aguas pluviales puede requerir también políticas dirigidas a otros objetivos, como por ejemplo, al comportamiento de los propietarios de vehículos, a los talleres e industrias que puedan contaminar las aguas pluviales, a los dueños de animales de compañía, etc (Bowers, y otros, 2000).

5- LA FINANCIACIÓN DE LA GESTIÓN DE LAS AGUAS PLUVIALES. ANÁLISIS DE LOS PRINCIPALES INSTRUMENTOS ECONÓMICOS EMPLEADOS EN LA UE.

A pesar de lo indicado en el apartado anterior, en general, son muy escasos los instrumentos económicos desarrollados en España y en el resto de Europa para gestionar situaciones de exceso de agua. Así, por ejemplo, las medidas adoptadas para reducir los riesgos de las inundaciones son fundamentalmente técnicas o reglamentarias: restauración de las llanuras de inundación o humedales, definición de mapas de riesgos de inundaciones, etc. Y en el caso concreto de la gestión de las aguas

pluviales, las soluciones empleadas se restringen aún más, siendo básicamente de tipo técnico, existiendo incluso muy poca regulación.

En este sentido, es importante recalcar la necesidad de que la gestión de las aguas pluviales cuente con fuentes de financiación exclusivas.

Además, en este apartado también se analizan las escasas experiencias que existen en Europa en este contexto.

Situación actual de la financiación de la gestión de las aguas pluviales en España.

En el mejor de los casos, en España, la única fuente de financiación es la *tasa de alcantarillado* impuesta en algunos municipios, cuyo hecho imponible suele ser, en la mayoría de los casos, la prestación de determinados servicios de alcantarillado, sin establecer ninguna distinción con respecto a las aguas pluviales. A modo de ejemplo, se citan algunas de las tasas existentes, en donde el importe se establece, en general, sobre la base del consumo de agua:

- Tasa de alcantarillado de Barcelona. Tiene como hecho imponible la prestación de unos determinados servicios: *la actividad de vigilancia especial y las de limpieza, explotación, conservación y desarrollo de la red municipal de alcantarillado con independencia, en todos los casos, de la intensidad y la frecuencia con la que se utilice*.
- Tasa por la prestación de servicios vinculados al ciclo integral del agua, del Ayuntamiento de Zaragoza. En este caso, en el hecho imponible se incluye, entre otras muchas cosas, la recogida y transporte de las aguas residuales y pluviales hasta las plantas depuradoras, su tratamiento y vertido a cauce natural en las condiciones establecidas en las autorizaciones de vertido concedidas por la Confederación Hidrográfica del Ebro. Se considerarán conectados a la red de saneamiento los puntos de suministro que realicen sus vertidos en canalizaciones distintas de la red de alcantarillado, cuando su titularidad o mantenimiento corresponda al ayuntamiento de Zaragoza.
- Tasa por prestación de servicio de alcantarillado y depuración de aguas residuales del Ayuntamiento de A Coruña. Constituye el hecho imponible de esta tasa la utilización o prestación de alguno de los servicios siguientes:
 - La utilización del alcantarillado municipal para la evacuación de excretas, aguas negras, pluviales y residuales en beneficio de las fincas situadas en el término municipal, siendo obligatorio que sus desagües y acometidas se verifiquen a la red general o a sus ramales, cualquiera que sea el lugar en que se ubiquen.
 - La prestación del servicio de recepción obligatoria, de depuración de aguas residuales.

- La prestación del servicio de vigilancia, inspección y limpieza obligatoria del alcantarillado particular, fosas sépticas y pozos negros.
- En general, todos aquellos servicios propios del objeto de esta Ordenanza que sean provocados por los interesados o que especialmente redunden en su beneficio, aún cuando estos no solicitaren su prestación y que, siendo de competencia municipal, tengan carácter obligatorio en virtud de precepto legal o reglamentario.

Necesidad de fuentes de financiación exclusivas para la gestión de las aguas pluviales: Para que la gestión de las aguas pluviales sea sostenible desde un punto de vista económico, hay que desarrollar algún sistema de financiación estable a lo largo del tiempo (Committee on Reducing Stormwater Discharge, 2009). Sin embargo, en general, la mayor parte de las actividades relacionadas con la gestión de las aguas pluviales se financian a través de impuestos generales, o conjuntamente con las aguas fecales, lo cuál es problemático, por varios motivos:

- 1- No existe vinculación entre las obligaciones financieras y los servicios recibidos. Esto puede redundar en una menor capacidad de los organismos responsables de la gestión de las aguas pluviales para planificar las medidas adecuadas y cumplir con sus obligaciones básicas en este tema.
- 2- Al financiarse a través de impuestos generales, las acciones encaminadas a mejorar la gestión de las aguas pluviales tienen que competir con otras acciones y con otras obligaciones de financiación.
- 3- Al financiarse de la misma fuente que otras muchas actuaciones públicas, las responsabilidades para la gestión de las aguas pluviales también suelen estar diluidas entre los responsables de esas otras actuaciones públicas, sin que exista gente dedicada exclusivamente a este tema.

Por lo tanto, se trata de introducir criterios de racionalidad económica a través de políticas tarifarias que incluyan medidas sociales complementarias que permitan gestionar objetivos de equidad social o interterritorial. Aunque esta racionalidad económica no exige la introducción de políticas de libre mercado (Arrojo, 2004), es destacable la experiencia de EEUU, donde cada vez más municipios están estableciendo empresas de servicios públicos que gestionan las aguas pluviales (Kaspersen, 2000). Para resolver esta cuestión, en algunos países, tal y como veremos a continuación, se han establecido impuestos o tasas cuyo objetivo es financiar las medidas de gestión de aguas pluviales.

Instrumentos financieros que se están aplicando en otros países de la Unión Europea: Si se realiza una revisión de los instrumentos económicos empleados en la gestión de las aguas pluviales,

se observa la poca importancia que se le ha dado a este tema en comparación con la gestión de las aguas residuales o la gestión de los recursos hídricos.

- A modo de ejemplo, en los Países Bajos, en lo que respecta a la gestión de las aguas pluviales, el gobierno holandés ha aplicado políticas nacionales encaminadas a reducir los desbordamientos en las redes unitarias en un 50% en términos de fósforo y nitratos, de 1995 a 2005 (Mattheiß, y otros, 2009). En este contexto, algunos municipios decidieron aplicar la desconexión de los desagües pluviales de la red de alcantarillado y proporcionar ayuda financiera a los propietarios de viviendas que quieran desconectar (p. ej. 5 €/m² de superficie desconectada del municipio de Nymegen) (Chouli, 2007).
- En Alemania, apoyo para la construcción de tejados verdes para reducir escorrentía del agua de tormenta. El uso esta tecnología para prevenir y reducir los efectos de las escorrentías está resultando eficaz en países como Alemania. El empleo de este tipo de cubiertas está siendo ampliamente desarrollado en algunas ciudades alemanas, impulsado a través de ayudas públicas o mediante reducción de impuestos. En general, el apoyo financiero es proporcionado por las propias ciudades. Así, un 43% de las ciudades alemanas ofrecen incentivos financieros para la instalación de techos verdes:
 - o 29 Grandes ciudades, entre ellas Berlín, dan apoyo financiero directo para este tipo de tecnologías que van desde 5 €/m² de cubierta a 50/m², o entre el 25 y el 100% de la instalación. Las subvenciones se basan en estimaciones de costes evitados asociados con el mantenimiento de la infraestructura y su reposición. Sólo están subvencionadas las inversiones.
 - o El 17 % de las ciudades alemanas ofrecen ayudas indirectas por la construcción de tejados verdes consistentes en una reducción en las tasas que cobran por el alcantarillado.
 - o Otras 13 ciudades alemanas permiten una reducción de entre el 50% y el 80% en el impuesto denominado "rain tax"⁶ para la instalación de techos verdes. Considerando una vida útil de 36 años para este tipo de cubiertas, la reducción fiscal puede compensar al propietario del edificio hasta un 50% de los costes adicionales asociados a este tipo de instalaciones frente a otras convencionales.
- En Alemania, incentivos para la gestión de las aguas pluviales *in situ*: En Berlín, los propietarios pagan por la escorrentía de las aguas pluviales, en función de la superficie

⁶ Este impuesto grava la superficie impermeable de las propiedades que generan escorrentía dirigida a los colectores de pluviales.

impermeable de su propiedad. A través de la aplicación *in situ* de medidas de gestión de las aguas pluviales (pavimentos permeables, desconexión de bajantes, técnicas de infiltración, etc.), los propietarios tienen derecho a descuentos en el canon por escorrentías pluviales.

- En Francia, reducción en el impuesto sobre la renta derivada de inversiones en la recogida de agua de lluvia y en su reutilización. Esta medida tiene por objeto reducir las aguas pluviales que fluyen por los sistemas de saneamiento pero también alentar a la reutilización del agua de lluvia y por lo tanto, la reducción del consumo de agua potable. Los ciudadanos que invierten en la recogida de agua de lluvia y en sistemas de reutilización pueden beneficiarse de una reducción de impuestos equivalentes al 25% del total de los gastos asociados a la instalación de estos dispositivos. Para una vivienda, el total de gastos que pueden deducirse no puede exceder, para el período comprendido entre 1 de enero de 2007 y 31 de diciembre de 2012, de 8.000 € por persona o 16.000 € por una pareja (más 400 euros por cada hijo). El decreto del gobierno que introduce el sistema indica las especificaciones técnicas que tienen que tener los equipos que pueden ser instalados. Además, se hace hincapié en que la reducción fiscal sólo se aplica a la reutilización del agua de lluvia para (1) usos al aire libre (jardinería, riego de espacios públicos verdes, lavado de coches...) y (2) para determinados usos interiores (inodoros, limpieza de pisos, etc.). Hay restricciones en la aplicación a diversos edificios públicos o de carácter social.
- Creación de humedales multifuncionales en Finlandia. Este es un ejemplo de aplicación de subvenciones en el desarrollo rural que ayudan en la prevención de inundaciones en ámbitos urbanos. El objetivo es conceder subvenciones a los propietarios de tierras para la construcción de humedales multifuncionales que, entre otras cosas, retengan un importante volumen de agua en la zona de aguas arriba de las cuencas durante episodios de fuertes escorrentías.

6- OTROS INSTRUMENTOS ECONÓMICOS. EL CUMPLIMIENTO ALTERNATIVO EN LA GESTIÓN DE LAS AGUAS PLUVIALES.

En este apartado se recogen algunas experiencias de otros países no pertenecientes a la Unión Europea, que a través de distintas políticas e instrumentos económicos, facilitan la implantación de medidas de gestión sostenible de las aguas pluviales. En todos los casos, la situación de partida es que el promotor que desarrolla nuevas urbanizaciones tiene que incluir en su proyecto los mecanismos necesarios para gestionar las aguas pluviales que recoja.

- Diseño flexible - Ordenanzas de descargas de efecto cero. Ciudades de Lacey, TumwaryIssaquah, Washington, USA: A través de estas ordenanzas se permite que los

promotores de nuevas urbanizaciones se aparten de diseños tradicionales y de las normas de construcción, empleando técnicas de gestión sostenible de aguas pluviales. Las ordenanzas exigen demostrar que la impermeabilidad efectiva conseguida con estas técnicas es cero (Puddephatt, y otros, 2007).

- **Créditos en la modelización de las aguas pluviales. Departamento de Ecología del Estado de Washington, Departamento de Conservación y Recreación del Estado de Virginia y Condado de Sacramento, USA:** En estos casos, se fomenta el uso de técnicas de drenaje urbano sostenible permitiendo que, en los casos en donde se empleen, las hipótesis de cálculo de los modelos hidrológicos sean menos restrictivas, de tal modo que el volumen de la escorrentía que se tiene que gestionar a través de autorización es menor (Puddephatt, y otros, 2007).

- **Bonos de densidad edificativa. Ciudades como Portland, Chicago y Sammamish, USA:** En estas ciudades, si se emplean técnicas de drenaje urbano sostenible en los nuevos desarrollos urbanísticos se permite aumentar la edificabilidad o la altura de las viviendas y, en algunos casos, reducir aparcamientos o zonas de juegos. En algunas ciudades, estos bonos están ligados al empleo de cubiertas verdes (Puddephatt, y otros, 2007).

- **Agilización de permisos y reducción de tasas. Estados de Florida y Washington, USA:** En algunos condados de estos estados se reducen las tasas y la tramitación de aquellos proyectos de planeamiento urbanístico que incorporen técnicas de drenaje urbano sostenible (Puddephatt, y otros, 2007).

- **Descuentos en tarifas. Estado de Oregon y Washington, USA y Estado de Victoria, Australia:** En algunas ciudades de USA se reducen las tarifas/cánones/impuestos residenciales y comerciales asociadas a la gestión de las aguas pluviales si se emplean técnicas de drenaje urbano sostenible. En Australia, el empleo de técnicas de gestión de las pluviales *in situ* (tanques de agua de lluvia, inodoros con doble descarga, sistema de aguas grises, cabezas de ducha eficiente, etc.) se financia por el Estado a través de descuentos en la factura del agua (Puddephatt, y otros, 2007).

- **Asistencia técnica e incentivos financieros en distintos estados de USA y de Australia:** En estos países se han llevado a cabo programas que ofrecen incentivos financieros para desarrollar acciones que reduzcan los impactos de las aguas pluviales a través del empleo de técnicas de drenaje urbano sostenible; estos programas a menudo incluyen actividades divulgativas y formativas. Así, en algunos casos se ofrece asistencia técnica y subvenciones para desconectar las bajantes de la red de pluviales o para implementar cubiertas verdes. En otros se ha proporcionado fondos para fomentar actividades que han mejorado la comprensión del desarrollo urbano y los impactos de las aguas pluviales en el medio ambiente. También hay programas enfocados a la reconstrucción de carreteras o a la gestión de las aguas pluviales recogidas en las calles (Puddephatt, y otros, 2007).

- **El cumplimiento alternativo:** En este contexto, el Cumplimiento Alternativo es un término utilizado para describir la posibilidad que ofrecen algunas administraciones de países como USA o Australia a los promotores de nuevas urbanizaciones para cumplir con los objetivos de gestión de las aguas pluviales del municipio fuera del emplazamiento del proyecto (Puddephatt, y otros, 2007). Esta flexibilidad en el cumplimiento de los objetivos permite a los promotores de un desarrollo urbanístico pagar al ayuntamiento para que se implementen las medidas de gestión de las aguas pluviales en un lugar diferente, dentro de la cuenca hidrográfica. Esto es aplicable cuando la implementación de las medidas estipuladas para gestionar el drenaje urbano no es factible en el lugar que se está urbanizando, por limitaciones del espacio, por el tipo de suelo, por la profundidad a la que se encuentran las aguas subterráneas, por los costes de construcción, etc. (Pristel, 2011). Este tipo de instrumentos permite que, sean cuales sean las circunstancias del proyecto, nunca haya exenciones a la implantación de medidas de gestión de aguas pluviales. Además, esto posibilita que estas medidas se puedan llevar a cabo en un contexto general de gestión en toda la cuenca, pudiendo dirigir la protección de los recursos naturales en general, y de los hídricos en particular, hacia aquellas zonas de las cuencas hidrográficas de mayor valor ecológico. En general, este tipo de políticas en EEUU ofrecen dos opciones el comercio de compensación y el comercio basado en cuotas.

- **Comercio de compensación:** tiene por objetivo gestionar, en un lugar distinto a donde se está desarrollando un proyecto, un volumen de aguas pluviales y una carga contaminante equivalente a la que movilizaría ese proyecto, de tal modo que, tomando como ámbito territorial toda la cuenca hidrográfica, se logre un beneficio medioambiental neto. Para poder desarrollar adecuadamente esta opción, hay que definir claramente las unidades en las que se comercia. A modo de ejemplo, la United States Environmental Protection Agency (USEPA) cita los créditos basados en contaminantes específicos, como medio de transacción en casos relacionados con la calidad del agua (USEPA, 2003). Para la gestión de aguas pluviales, además de los parámetros de calidad habituales, la USEPA cita otros factores a tener en cuenta, que relacionen volumen de escorrentía, patrones de uso del suelo o porcentaje de superficie impermeable por unidad de superficie o por unidad de carga contaminante. A la hora de hacer los intercambios, en un principio, serían válidos, por ejemplo, los que sean equivalentes en volumen de escorrentía gestionada o en superficie impermeable creada; sin embargo, si hay una relación de equivalencia entre estos y otros parámetros, la USEPA también permite un comercio cruzado (USEPA, 2007-2009). A modo de ejemplo, los intercambios entre la generación de escorrentía y la protección de la zona de servidumbre o de la zona de recarga de aguas subterráneas no serían aceptables, salvo que exista una correlación clara entre los impactos que en ambos casos se generan sobre la calidad del agua (Pristel, 2011).

- **Comercio basado en cuotas:** consiste en que el promotor paga una parte de un proyecto de gestión de aguas pluviales a escala regional, que recoge y trata las aguas de escorrentía de varios proyectos de la misma cuenca. En este caso, se ofrece la posibilidad de que haya un banco de mitigación⁷, de tal modo que se acumula un importe basado en *créditos* por adelantado y se ponen a disposición para su compra posterior. La guía del comercio basado en cuotas establece una preferencia por la compensación *en especie*, pero puede permitir una compensación *sin especie* (comercio cruzado) si se alcanza un mayor valor ecológico (Pristel, 2011).

⁷ Este tipo de bancos surgen en EEUU como un tipo aceptable de mitigación compensatoria para paliar la pérdida de humedales a causa de proyectos de desarrollo. La frase banca de mitigación de humedales hace referencia a la creación, restauración o mejoramiento de humedales que serán vendidos o intercambiados para compensar las pérdidas futuras de humedales ocasionadas por actividades propuestas de desarrollo. Los humedales así creados, restaurados o mejorados, se suelen designar como el **banco de mitigación** y su valor se cuantifica de alguna manera. A ese valor se le asignan créditos, es decir, unidades que miden el cambio en los valores y funciones del humedal. Estos créditos se pueden vender o retirar para compensar por las pérdidas de humedales o hábitats de vida silvestre en otros (Marsh, y otros, 1996).

- CAPÍTULO 9 -

NECESIDAD DE UN ENFOQUE INTEGRAL EN LA GESTIÓN DE LAS AGUAS PLUVIALES EN ÁMBITOS URBANOS

1- INTRODUCCIÓN.

En los capítulos anteriores se han analizado los principales aspectos relacionados con las aguas pluviales, tanto a nivel de problemática como de soluciones.

La principal conclusión de lo visto hasta ahora es que existen bastantes herramientas, más o menos complejas, y de aplicación más o menos costosa, para diagnosticar los problemas asociados a la gestión de las aguas pluviales y para su posterior solución.

Evidentemente, estas herramientas pueden ser mejoradas y afinadas para que respondan mejor a los fines para los que se diseñan. Sin embargo, en nuestra opinión, el mayor reto en la gestión de las aguas pluviales es integrar todos los problemas diagnosticados como parte de un todo, de tal modo que las soluciones que se planteen no sean parches que produzcan a posteriori repercusiones inesperadas en aquellas cuestiones no consideradas, sino que respondan de forma eficaz y equilibrada a las necesidades del conjunto, actuales y de futuro.

Conseguir este ambicioso objetivo sería llevar a cabo lo que nosotros llamamos una gestión integral de las aguas pluviales. En este capítulo trataremos de esbozar las líneas maestras de este tipo de gestión. Su desarrollo en profundidad excedería el alcance previsto para este trabajo.

2- IDEAS PARA UNA GESTIÓN INTEGRAL DE LAS AGUAS PLUVIALES

Los primeros pasos para llevar a cabo este tipo de gestión consistirían en establecer un diagnóstico certero de la situación actual, identificar a todos los agentes y actores interesados y establecer entre todos ellos un programa de necesidades realista para alcanzar unos objetivos consensuados. Las deficiencias y las necesidades detectadas podrían clasificarse en tres tipos: sociales, económicas y medioambientales.

En este sentido, sería importante analizar las relaciones e interdependencias que se producen entre estos tres ejes (el social, el económico y el medioambiental), tanto en el espacio como en el tiempo, de tal modo que las medidas de gestión que se planteen tendrían que equilibrar las tensiones que se produjesen entre todos ellos. Así, a modo de ejemplo, no sería adecuada una gestión que consiga reducir posibles inundaciones urbanas con poco coste económico, pero dañando medioambientalmente el medio receptor; como tampoco lo sería conseguir reducir la contaminación

vertida al medio receptor y posibles inundaciones urbanas a través con una solución con un coste de construcción razonable pero con un coste de explotación inasumible; del mismo modo, tampoco responderían a una gestión integral soluciones que reduzcan los episodios de crecidas y la contaminación asociada con un coste razonable en un ámbito situado en una cuenca si se hace dañando la calidad de un acuífero del que se abastece una población situada en otra cuenca distinta.

Para asegurar que las medidas de gestión planteadas han tenido en cuenta todas las variables y relaciones y que se han barajado los escenarios espacio temporales más probables, lo más recomendable es llevar a cabo un proceso de participación pública activo, donde estos posibles problemas saldrían rápidamente a la luz.

Al construir las soluciones o medidas de gestión, las herramientas disponibles están claras, puesto que se han analizado con exhaustividad en los capítulos anteriores. En principio, estas soluciones pueden ser de dos tipos, siendo aconsejable que se establezcan medidas de ambos tipos:

- 1- A gran escala, a través de grandes actuaciones que pueden modificar completamente la filosofía del drenaje existente en una determinada zona: nuevas infraestructuras de drenaje convencionales, implantación de SUDS, modificación del sistema de recogida y tratamiento de las pluviales de una determinada autovía, establecimiento de tasas sobre las superficies impermeables en una determinada región, etc.
- 2- A pequeña escala, a través de acciones individuales o colectivas adaptadas a los esquemas de drenaje existentes: actividades formativas y de concienciación, fomento de las desconexiones individuales de las redes, incentivos a la implantación de cubiertas verdes, etc.

Una vez establecidas las medidas de gestión integral más adecuadas para cada situación concreta, como resultado de un verdadero proceso de participación pública de todos los agentes implicados, y mediante el empleo de las herramientas disponibles más adecuadas, hay que dotar a ese *acuerdo* de la validez necesaria para que perdure en el tiempo y de los mecanismos necesarios para su constante validación y reformulación, de tal modo que llegue a ser un verdadero instrumento de planificación.

En este sentido, son destacables los Planes Directores de Drenaje Urbano⁸ y constituyen un buen instrumento de partida, sobre todo desde un punto de vista técnico, para conseguir el enfoque integral planteado en este trabajo. Sin embargo, este tipo de documentos no suelen proceder del consenso entre todos los actores implicados y con responsabilidades en la gestión de las aguas pluviales, sino de la imposición de uno de ellos (la Administración correspondiente) que, en todo caso, lo somete a información pública. Además, los aspectos económicos o sociales habitualmente se dejan de lado.

⁸ Estos planes directores son documentos con un carácter municipal estratégico. Su objetivo es definir las características y el caudal máximo de aguas de lluvia que puede soportar cada zona del municipio, proponiendo en su caso las medidas correctoras pertinentes en la red existente. En ellos, fundamentalmente se realiza un análisis exhaustivo de la red de drenaje existente y de sus deficiencias y necesidades, y se propone un programa de actuaciones priorizado.

Por este motivo, en este trabajo proponemos como instrumento para llegar a una verdadera integración participativa de los aspectos medioambientales, económicos y sociales relacionados con la gestión de las aguas pluviales, el *contrato de gestión de las aguas pluviales*. Este contrato sería el acuerdo alcanzado por todas las partes involucradas en esta gestión, después de discutir y consensuar las necesidades y las soluciones, y tendría fuerza vinculante para todos los agentes y administraciones y sería viable desde un punto de vista jurídico, económico, financiero, sociopolítico, etc., puesto que todos ellos habrían participado en la construcción de esas soluciones. Además, el propio *contrato* tendría que contener los mecanismos necesarios para su implantación, para su validación y para su posterior revisión, de tal modo que ante la aparición de nuevos actores, ante la experiencia acumulada al implementar las medidas propuestas y los resultados obtenidos o ante cualquier otra eventualidad, el contrato pudiese renovarse fácilmente, de tal modo que nunca perdiese su vigencia y validez.

3- DIFICULTADES EN LA IMPLANTACIÓN DE UNA GESTIÓN INTEGRAL DE LAS AGUAS PLUVIALES

La construcción de las soluciones, participativas y consensuadas, a los problemas y necesidades detectadas exige tener presentes las principales dificultades a las que habrá que hacer frente, para preparar con antelación las estrategias adecuadas. Algunas de estos posibles obstáculos son:

- 1- Pueden aparecer reticencias institucionales a este tipo de gestión. Las soluciones integrales exigen una coordinación entre varias administraciones y organismos competentes, que no siempre están dispuestos a llegar a acuerdos. En este sentido, además de la necesaria voluntad política, es importante que haya un Organismo que asuma como uno de sus objetivos conseguir una gestión integral de las aguas pluviales y que sea reconocido como coordinador de todo el proceso por los demás, que pueden tener un enfoque mucho más parcial del tema.
- 2- Una gestión integral se puede encontrar con dificultades normativas, en el sentido de que las soluciones que se planteen pueden contradecir la legislación existente (planes urbanísticos, legislación sectorial, normativa sobre reutilización, normativa basada en sistemas de drenaje tradicionales, etc.). Por ello, sería interesante poder dotar de fuerza vinculante a los acuerdos adoptados en el proceso de construcción de la solución, tal y como se explicó al plantear el *contrato de gestión de las aguas pluviales*. Este sería un modo de legislar más racional y cercano a la sociedad y a sus problemas, alejado del tradicional sistema impositivo, adecuado para preceptos penales, pero no para establecer normas administrativas en una sociedad madura.
- 3- Las soluciones propuestas para una gestión integral de las aguas pluviales estarán asociadas, en muchos casos, al empleo de SUDS, a la utilización de instrumentos de financiación y de

incentivación, a la reutilización, etc., frente a las soluciones más duras empleadas en el drenaje tradicional. La implantación de estas técnicas puede acarrear dificultades, tales como:

- a. Oposición por parte de las empresas cuyo nicho de mercado fundamental está asociado a la implantación de las soluciones tradicionales: constructoras, consultorías, gestores de las redes, etc. Para contrarrestar esta oposición se pueden desarrollar actividades formativas, para promover el reciclaje hacia el nuevo modelo de gestión, y se pueden subvencionar temporalmente las nuevas tecnologías, para abrir nuevos mercados en este campo y que sea atractivo para estas y otras empresas.
 - b. Oposición por parte de los responsables de la gestión de las aguas pluviales (funcionarios municipales o autonómicos, gestores, etc.), por ser técnicas sobre las que hay menos experiencias y más desconocimiento y sensación de que se están asumiendo mayores riesgos. En este sentido, además de las actividades formativas, sería interesante realizar experiencias piloto para afrontar miedos y demostrar la fiabilidad de estas técnicas. A partir de estas experiencias sería más sencillo desarrollar el nuevo modelo de gestión a gran escala.
 - c. Oposición por los promotores de las obras porque es posible que el coste de ejecución de este tipo de soluciones sea mayor que un parche para mejorar las infraestructuras tradicionales existentes. En este caso, lo que hay que comparar no son los costes de implantación de las diferentes medidas, sino el coste total de cada una de las opciones, en donde se tenga en cuenta la explotación y el mantenimiento de cada una de las alternativas y los costes que conlleva no estar resolviendo de forma integral la gestión de las aguas pluviales.
 - d. Oposición por requerir una mayor necesidad de espacio en suelo urbano para la implantación de estas técnicas. Frente a este obstáculo hay que intentar encajar estas soluciones en los espacios públicos existentes o conformando una nueva forma de entender el paisaje urbano; se pueden establecer mecanismos de compensación por la pérdida de suelo urbano, pero poniendo siempre en valor las ventajas de estos nuevos espacios para el conjunto de la ciudad.
- 4- Por último, también pueden ponerse trabas por parte del público en general, acostumbrada a los sistemas de drenaje tradicionales, que entierran los problemas asociados a las pluviales. En este sentido, es fundamental llevar a cabo actividades formativas que expliquen con claridad el ciclo del agua en los ámbitos urbanos y las ventajas que tienen las nuevas formas de gestión. Además, la participación activa de todos los agentes implicados o afectados por la gestión de las aguas pluviales también ayuda a limar estas reticencias.

En cualquier caso, para que realmente esta nueva forma de gestionar las aguas pluviales se pueda implementar y que todos los obstáculos se puedan salvar con éxito es fundamental, como casi siempre, que exista voluntad política.

4- INDICADORES PARA EVALUAR EL ÉXITO EN LA IMPLANTACIÓN DE LA GESTIÓN INTEGRAL DE LAS AGUAS PLUVIALES.

Para poder evaluar en todo momento el grado de consecución de los objetivos establecidos, fruto del acuerdo entre todas las partes interesadas (*contrato de gestión*), es necesario disponer de indicadores adecuados.

La elección de los indicadores depende en gran medida de los objetivos que se establezcan entre las partes, de tal modo que cada objetivo debería estar asociado a un indicador. El foco de atención ya no se pondrá en la rápida evacuación de las escorrentías urbanas, sino que habrá objetivos relacionados con el estado ecológico de las masas de agua receptoras de esas escorrentías, con los usos que tengan esas masas, con la creación de paisajes urbanos de gran valor, con la generación de nuevos puestos de trabajo, con el fomento de la investigación y el desarrollo, con la evitación de riesgos de inundación, con el ahorro de agua a través de la reutilización de las pluviales, etc.

Los indicadores tienen que ser sencillos, de fácil medición, y responder al objetivo que se pretende evaluar. A modo de ejemplo, se pueden citar como indicadores:

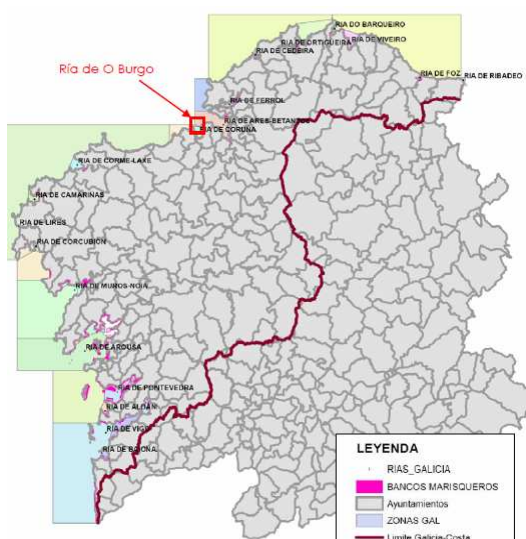
- La frecuencia en las inundaciones urbanas y sus repercusiones económicas por habitante y año.
- El estado ecológico de las masas de agua receptoras.
- El número de incumplimientos al año en el funcionamiento de la EDAR asociada al sistema.
- La reducción en la demanda de agua potable.
- El número de alivios al año que se produce a través de las redes unitarias.
- Nivel piezométrico en acuíferos asociados a una determinada cuenca.
- Porcentaje de población a favor del nuevo modelo de gestión.
- Incremento en el valor catastral del suelo.
- El número de días al año que se abren las playas al baño.
- El número de zonas de marisqueo con clasificación A.
- El número de empleos generados al año.

- CAPÍTULO 10 -

APLICACIONES ALÁREA METROPOLITANA DE A CORUÑA.

1- INTRODUCCIÓN.

Esta primera aplicación de todo lo estudiado en los capítulos anteriores se ubica en el área metropolitana de A Coruña y más concretamente en la zona de ésta situada en la cuenca vertiente de la denominada Ría de O Burgo (interior de la Ría de A Coruña).



El análisis se ha centrado en esta zona tan concreta por la confluencia de varios aspectos que complican la gestión de las aguas pluviales:

- 1- Se trata de una zona bastante poblada: las márgenes de esta ría concentran un tercio de la población total del área metropolitana de A Coruña (más de 350.000 habitantes). Es la zona hacia la que se está expandiendo la población de A Coruña y en ella se han construido bastantes urbanizaciones en los últimos años.
- 2- Se trata de una Ría pequeña y cerrada en la que el intercambio de aguas con el océano es limitado y muy condicionado por la época del año, siendo mínimo cuando el caudal del Río Mero (su principal aporte) se reduce, y esto depende de la pluviometría y del embalse de Cecebre (que abastece de agua potable a toda el área metropolitana). Por lo tanto, es una zona muy sensible a la contaminación.
- 3- Toda la cuenca está sometida a elevadas presiones tanto agrícolas y ganaderas, en la parte alta de la cuenca, menos poblada, como urbanas e industriales, en el borde mismo del litoral.

- a. Los vertidos industriales han ido desapareciendo en los últimos años, al dismantelarse parte de las industrias que vertían sus efluentes sin tratar a la ría y al imponerse sanciones a aquellos que lo seguían haciendo (cerca de 130.000 euros en los últimos años). En este sentido, son destacables los vertidos de “la Cros”, fábrica de fertilizantes que contaminó el fondo de la ría hasta los años 80, momento en que cesó su actividad, con importantes concentraciones de arsénico y metales pesados procedentes del proceso de tueste de la pirita; también fueron determinantes los vertidos del matadero Fricosa, la fábrica de harinas y aceites Moyresa (Bunge Ibérica), que ha sido dismantelada recientemente, y Cosméticos Henkel (la Toja), que también ha cesado su actividad.
 - b. Por el contrario, la población de esta zona ha crecido mucho en los últimos años, construyéndose nuevas urbanizaciones y expandiéndose los núcleos existentes, por lo que la contaminación de tipo urbana, tanto de fecales como de pluviales, por ser la red unitaria, se ha incrementado últimamente.
- 4- La red de colectores existentes es fundamentalmente unitaria, aunque hay pequeños tramos separativos. El objetivo de esta red es conducir todas las aguas fecales y las pluviales asociadas fuera de la cuenca vertiente a la Ría, a la zona de Bens, situada en la costa, donde se ubica la EDAR de A Coruña. Para conseguir esto se han ejecutado numerosas y costosas infraestructuras: unos 30 bombeos, 8 de ellos de gran magnitud, unos 300 kilómetros de tubería, un tanque de tormentas, dos túneles de grandes dimensiones, etc. Sin embargo, todo este sistema no funciona adecuadamente, sobre todo en tiempo de lluvia, con descargas continuas a la Ría.
- 5- La principal consecuencia del estado actual es un mal estado de las aguas de la ría, que repercute en los usos que se desarrollan en ella:
- a. La zona más exterior de la Ría tiene playas muy turísticas, como la de Santa Cristina o la de Bastiagueiro, con mucha afluencia de gente en verano, por lo que el potencial turístico de la zona se puede ver afectado.
 - b. La zona interior tiene en ambas márgenes paseos marítimos, con parques y jardines, muy frecuentados, constituyendo una de las mejores zonas de esparcimiento de todo el área metropolitana; también es frecuente la navegación.
 - c. Alguno de los sectores en los que se divide la ría desde el punto de vista de la extracción legal de moluscos está catalogado como C, la peor catalogación ambiental posible⁹ y el resto como B, lo que repercute muy negativamente en la actividad de los mariscadores.

⁹ Que una zona de producción de moluscos sea clasificada como “C” constituye un factor limitante para el desarrollo de la actividad marisquera, pero no impide que pueda seguir desarrollándose ni que el marisco que en ella se produce pueda seguir comercializándose. Para ello, lógicamente, la explotación deberá contar con unas características tales, que permitan superar de una manera rentable los procesos de reinstalación y depuración legalmente exigidos,

- 6- Existe un importante movimiento social de concienciación a favor de la recuperación de la ría, siendo los mariscadores el agente más activo. Todos ellos se concentran en la *Plataforma para a defensa da Ría do Burgo*, que reúne a más de 20 asociaciones (ecologistas, vecinales, etc.), a 6 partidos políticos (de izquierdas y de derechas, locales y autonómicos), 5 sindicatos.



2- PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE SANEAMIENTO DE LA RÍA DE O BURGO.

El sistema de saneamiento de la Ría de O Burgo es de tipo unitario. La principal característica es que no existe ninguna depuradora en ninguna de las cuencas fluyentes hacia la ría, sino que todas las aguas residuales de esta zona se conducen hacia la EDAR de A Coruña, situada en Bens, y su vertido se produce directamente al mar.

Su configuración actual se fraguó en los años 80. En ese momento se decidió prolongar, hacia la bocana de la Ría del Burgo (Pasaje), el túnel que conducía las aguas fecales de la ciudad de A Coruña hasta la depuradora de Bens (túnel Elviña – Bens).

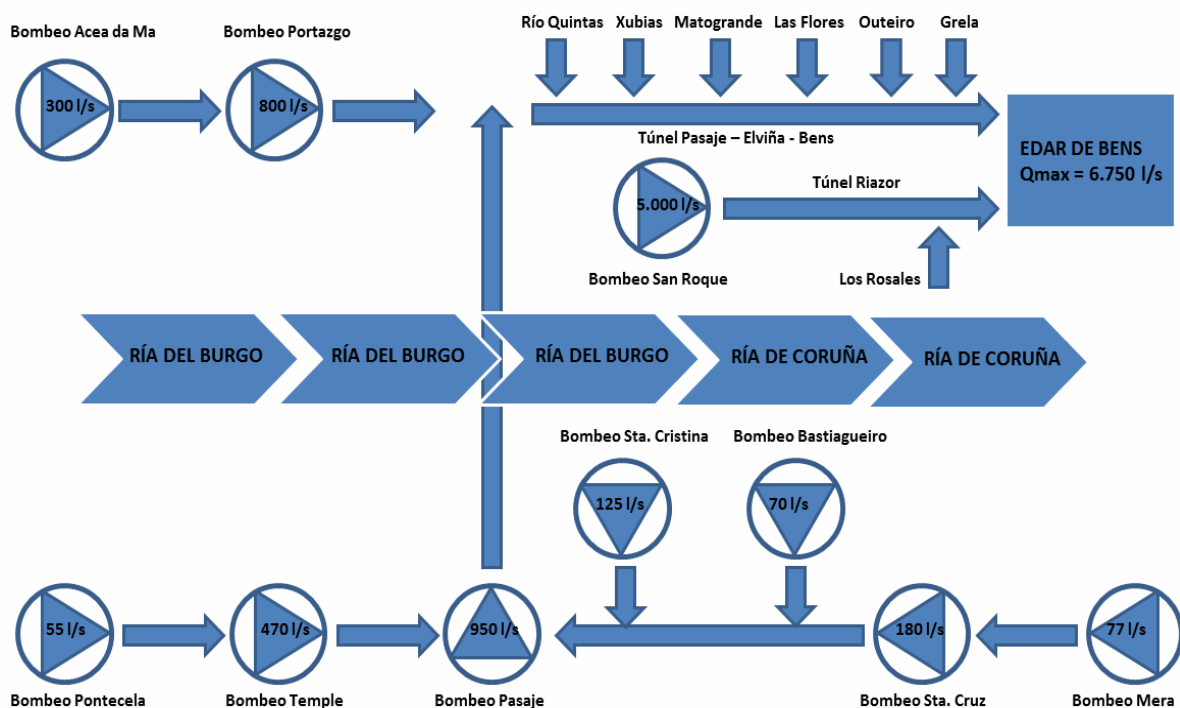
u orientarse a la industria de transformación, encuyos establecimientos los productos procedentes de zonas “C” reciben el tratamiento adecuado que garantiza la eliminación de su carga bacteriana.

Esta prolongación del túnel, que se convirtió en el Túnel Elviña – Pasaje – Bens, permitió inicialmente la recogida de las aguas fecales de la margen derecha de la ría. La recogida de estas aguas exigió la construcción de tres grandes bombes consecutivos: el de Ponte Cela, el del Temple y el de Pasaje.



Posteriormente, se incorporaron al bombeo del Pasaje las aguas recogidas en la franja costera del municipio de Oleiros, a través de otros tres bombes consecutivos: Mera, Santa Cruz y Bastiagueiro. Además, se renovaron los tres bombes iniciales (Ponte Cela, Temple y Pasaje) y se construyeron dos bombes más para sanear la margen izquierda de la ría (Aceia da Ma y Portazgo), incorporando el de Aceia da Ma un tanque de tormentas.

A través del siguiente esquema se puede entender mejor cuál es el funcionamiento del saneamiento de la Ría de O Burgo.



La elección de esta configuración de saneamiento ha tenido como principal consecuencia, ante el constante crecimiento de la población servida, el crecimiento de la red hacia aguas arriba y la falta total de sistemas de laminación de puntas en tiempo de lluvia, la necesidad de ejecutar numerosas actuaciones en los últimos años cuyo objetivo último es imposible: aumentar los caudales bombeados

de todos los bombeos para evitar cualquier descarga a la ría, tanto en tiempo seco como en tiempo de lluvia.

Para poner de manifiesto que el modelo de saneamiento empleado en la Ría de O Burgo ha llegado a su límite también hay que destacar que, en la actualidad, todos los caudales manejados por este sistema de saneamiento van a parar, a través del túnel Pasaje – Elviña – Bens, a la nueva EDAR de Bens, recientemente construida. Esta nueva EDAR, atendiendo a los valores presentes en el anteproyecto de la misma, tratará los siguientes caudales en la fase actual:

Q mínimo en tiempo seco	→ 758 l/s
Q medio en tiempo seco	→ 1.516 l/s
Q punta en tiempo seco	→ 2.274 l/s
Q máximo en tiempo de lluvia	→ 6.750 l/s

Si comparamos estos valores con los datos indicados de los bombeos de Pasaje y Portazgo, vemos que cuando estos trabajen al 100% de su capacidad enviarán del orden de 1.800 l/s, es decir, del orden del 75% del caudal punta de tiempo seco actual tratado por la planta. Además, si analizamos el total de los volúmenes que llegan bombeados a la EDAR de Bens, éstos son equivalentes al caudal máximo que es capaz de tratar la depuradora en tiempo de lluvia, pero barrios tan importantes como Los Rosales, As Xubias, Matogrande, Las Flores, la zona de la Ronda de Outeiro y el polígono de A Grela llegan a la EDAR por gravedad. Por lo tanto, una planta diseñada para tratar las aguas residuales de la ciudad de A Coruña y toda su área metropolitana, si no se gestiona adecuadamente el agua bombeada, puede verse casi saturada por las aguas enviadas por menos de un 30% de la población servida, la correspondiente a la Ría de O Burgo, y totalmente colapsada en tiempo de lluvia.

Por otro lado, con respecto a la propia red, es importante resaltar que, aunque inicialmente se diseñó como “unitaria”, en los últimos años los distintos ayuntamientos han ejecutado diversas actuaciones consistentes en instalar colectores para la recogida y evacuación de las aguas pluviales, por lo que se ha convertido en pseudoseparativa. Sin embargo, el nulo control sobre las acometidas a las redes o la conexión aguas abajo con redes unitarias hace que estas medidas no sean muy eficaces para disminuir los vertidos a la ría. Además, los últimos estudios realizados demuestran que no sólo se transportan por las redes y posteriormente se bombean las fecales y las pluviales, sino también un volumen importante de agua infiltrada, tanto de los ríos como de la propia Ría.

Como conclusión general a todo lo explicado en este apartado se puede indicar que el sistema de saneamiento empleado en la Ría de O Burgo no necesita más ampliaciones de la capacidad de impulsión, sino al contrario, es urgente adoptar las decisiones adecuadas para llevar a cabo un manejo eficiente de las aguas pluviales, a través de los bombeos existentes, con medidas de gestión y

con medidas estructurales que aumenten la capacidad de retención en tiempo de lluvia y, con ello, pueda disminuirse de manera efectiva la contaminación en la Ría.

3- SITUACIÓN ACTUAL DE LA RÍA DEL BURGO.

A partir de los estudios realizados para elaborar el Plan Hidrológico Galicia Costa, se pueden analizar cuáles son las principales presiones a las que está sometida la Ría del Burgo, los impactos y su estado en la actualidad.

- **Presiones principales:** la presión clave existente en esta ría es la derivada de los puntos de vertido de tierra a mar, que en su mayoría se deben a sistemas deficitarios de las redes de saneamiento existentes o conexiones erróneas de aguas residuales a redes de pluviales. El seguimiento que se está realizando en la Ría de A Coruña y en la Ría de O Burgo, ha permitido inventariar un total de **149 puntos de vertido** a las Rías de A Coruña y O Burgo; de los cuales se consideran **puntos de vertido no contaminantes un total de 109**, es decir, mas del 73% de los puntos diagnosticados actualmente.
- **Impactos y estado de las masas de agua:**
 - En lo que atañe a las **aguas de transición de la Ría de O Burgo**, no se alcanza el buen estado debido al incumplimiento del estado químico, al haberse detectado la presencia de sustancias prioritarias.
 - En cuanto a los **ríos vertientes a la Ría de O Burgo**, la situación es la siguiente:
 - Rego de San Pedro: las aguas no alcanzan el buen estado. En este caso, debido a la no existencia de redes de control, la valoración del estado de las aguas se realizó según criterio de experto, tras analizar las presiones a las que está sometido este curso fluvial.
 - Rego de Gándara: tras la valoración realizada basándose en indicadores biológicos (los únicos disponibles para esta masa de agua), las aguas no alcanzan el buen estado. Las causas del incumplimiento se deben fundamentalmente a las afecciones detectadas en la estructura de la comunidad de macroinvertebrados.
 - Río Mero: tras la valoración realizada basándose en indicadores fisicoquímicos, químicos y biológicos, las aguas no alcanzan el buen estado, debido a incumplimiento del estado químico (por sustancias prioritarias), y del estado ecológico (por afecciones detectadas en la estructura de la comunidad de macroinvertebrados).
 - Río Valiñas: tras la valoración realizada basándose en indicadores fisicoquímicos y biológicos, as aguas no alcanzan el buen estado, debido a incumplimiento del estado ecológico(por fósforo total).

- Rego de Trabe: tras la valoración realizada basándose en indicadores biológicos (los únicos disponibles para esta masa de agua), las aguas alcanzan el buen estado.

No obstante, es importante señalar que la valoración del estado de las aguas es un proceso continuo, y que, por lo tanto, está sometido a revisiones y actualizaciones periódicas.

4- PRINCIPALES MEDIDAS ADOPTADAS HASTA LA FECHA.

En los últimos años se han llevado a cabo distintas iniciativas para intentar mejorar la gestión de las aguas pluviales en el entorno de la Ría del Burgo y, en general, para reducir la contaminación en la misma. Estas medidas han sido de dos tipos, estructurales, que son las predominantes, y de gestión. Las principales acciones han sido emprendidas por la Administración autonómica y son las siguientes:

Planes de saneamiento. En la última década se han desarrollado dos planes de saneamiento específicos para este ámbito territorial:

- **Plan de Saneamiento y Recuperación del entorno de las Rías de A Coruña, O Burgo y municipios limítrofes:** Este plan se aprobó en el año 2001 y se redactó con los tres criterios siguientes:

1- **Criterio medioambiental:** se definieron las actuaciones necesarias para conseguir que los niveles de contaminación en las aguas estuvieran dentro de los rangos exigidos de calidad para los usos que reciben (cría de moluscos en las rías de A Coruña y O Burgo, y baño en el caso de las playas de Arteixo, A Coruña y Oleiros).

2- **Criterios puramente hidráulicos:** se propusieron aquellas infraestructuras hidráulicas necesarias para evitar las inundaciones en las redes urbanas en régimen de tormentas.

3- **Criterio socio-económico:** los sistemas de saneamiento propuestos en cada una de las zonas deberían ser acordes con el desarrollo poblacional e industrial de las mismas.

El objetivo fundamental era conseguir unos niveles de contaminación acordes con los exigidos en la normativa vigente. En base a los trabajos de toma de datos y el análisis de los mismos, se elaboró un diagnóstico de la situación existente en los sistemas de saneamiento.

En el caso de la Ría de O Burgo, los principales problemas detectados fueron los siguientes:

- Contaminación importante por vertidos directos.
- Problemas de funcionamiento en los bombeos.
- Contaminación incidente en los cursos de agua que desembocan en la ría, sobre todo el Río Valiñas.

A partir del estudio realizado, se plantearon una serie de actuaciones para paliar los problemas detectados y lograr los objetivos marcados, cumpliendo así mismo con los criterios de calidad impuestos para las aguas. En el caso concreto de la **Ría de O Burgo**, las actuaciones propuestas

tenían dos horizontes temporales distintos, según la prioridad que desde el punto de vista técnico tenía cada una de las obras. Así, en primer lugar, se consideró prioritaria la reducción de contaminación en el Río Valiñas, que desemboca en la Ría de O Burgo, la ampliación de los bombeos que aliviaban a la Ría de O Burgo, construyendo en uno de ellos un tanque de tormentas, y la sustitución de la EDAR de Mera, que vertía a la playa de Mera, por un bombeo a la red general. En segundo lugar, se consideró importante conectar al sistema de saneamiento aquellos núcleos importantes que carecían del mismo. En total, se invirtieron más de 22 millones de euros.

- **Plan de saneamiento Local de la Ría de O Burgo:** Este plan tiene como ámbito territorial los ayuntamientos con límite geográfico en la Ría de O Burgo (A Coruña, Culleredo, Cambre y Oleiros). El objetivo de este nuevo plan, que empezó a redactarse en marzo de 2010, es constituir un documento básico que permita planificar las futuras actuaciones en materia de saneamiento y drenaje, así como la ordenación de estos sistemas según los criterios de la Administración Hidráulica de Galicia en los ayuntamientos del ámbito de estudio. El alcance de los trabajos que se están desarrollando (prácticamente está terminado) es el siguiente:

- Fase I: Conocimiento del sistema actual de saneamiento y drenaje. Localización de los vertidos. Identificación de zonas marisqueras y zonas de baño. Identificación de zonas de especial protección ambiental. El objetivo final de esta fase es obtener toda la información necesaria para tener una visión general del sistema de saneamiento y drenaje y sus puntos débiles, y disponer de los datos precisos para hacer el modelo numérico y las campañas de medición de caudales y análisis de cargas contaminantes. Toda la información se incorporará en un Sistema de Información Geográfica (GIS).
- Fase II: Campaña de aforos de caudal, analíticas de vertidos y medida de la pluviometría, que tiene por objetivo obtener los datos básicos de las cargas contaminantes vertidas al medio receptor tanto en tiempo seco como en tiempo de lluvia. Para ello se ha medido el caudal en: puntos de vertido, en las entradas de obras singulares (bombeos, EDAR, depósitos de retención, etc.), en las salidas de obras singulares y en los puntos bajos de las subcuencas. También se han realizado campañas de toma de muestras en los puntos de vertido más significativos, analizando los siguientes parámetros: nitrógeno total, nitrógeno amoniacal, fósforo total, pH, todas las formas de sólidos, coliformes fecales y totales, *E. coli*, Enterococos fecales, DBO₅, DQO, aceites y grasas, conductividad, y turbidez.
- Fase III: Modelo numérico de la red. Calibración. Para el cálculo de la red y su modelización numérica, se seguirán los criterios de cálculo recogidos en las Instrucciones Técnicas de Obras Hidráulicas de Galicia. (ITOGH) Serie Saneamiento. En este sentido, se ha hecho una simulación prolongada de la red para un año medio, que permite analizar el número de vertidos

al medio receptor que se realizan en un año medio, en distintos escenarios, y el porcentaje de retención del volumen anual de agua que circula por la red y que es retenido y tratado por el sistema, en la actualidad y con distintas actuaciones propuestas.

- Fase IV: Evaluación del impacto de los alivios y vertidos. Modelo de calidad de las aguas de la ría. Esta fase tuvo como objetivo fundamental la elaboración de un modelo hidrodinámico que permitió obtener un modelo fiable de calidad en la Ría de O Burgo y predecir el comportamiento de esta frente a los vertidos detectados.
- Fase V: Elaboración de propuestas de actuación. En esta fase, que está actualmente en ejecución, se analizarán en base al modelo numérico y con los resultados de los estudios de las fases anteriores, las actuaciones adecuadas para mejorar el funcionamiento de la red y adaptarla a los criterios reflejados en las ITOGH. Serie Saneamiento. Las soluciones propuestas se comprobarán desde el punto de vista teórico en el modelo numérico y se verificará su viabilidad en el terreno mediante levantamientos topográficos, disponibilidad del suelo, Planes Generales de Ordenación Urbanística (PGOU), etc.
- Las propuestas que se han realizado hasta ahora son:
 - o De carácter general:
 - Implantar técnicas de drenaje urbano sostenible para reducir los caudales de tiempo de lluvia en las redes fecales.
 - Mejorar y unificar la gestión y explotación de los bombeos y los tanques de tormenta de todo el sistema, teniendo en cuenta el funcionamiento de la EDAR de Bens.
 - o Ayuntamiento de Oleiros:
 - Revisión integral del colector del río San Pedro.
 - Tanque de tormentas en el bombeo de Santa Cruz.
 - Eliminar pluviales de la red de fecales de Bastiagueiro.
 - o Ayuntamiento de Cambre: Tanque de tormentas en el bombeo de O Temple.
 - o Ayuntamiento de Culleredo: Implantar pequeñas EDAR en Ledoño, Celas, Peiro y Castelo.
- En todo caso, está pendiente analizar la calidad de los ríos vertientes, para evaluar si esas medidas mejorarán realmente la calidad de la Ría o su situación de partida es tal que, o se toman medidas aguas arriba, en ámbitos no urbanos, o la calidad nunca será la adecuada.

Plan de Recuperación de la Ría de O Burgo: El Plan de Recuperación de la Ría de O Burgo consiste en la ejecución de una serie de acciones realizadas por los mariscadores, para mantener

vivos los bancos, evitando su degradación debido a la contaminación presente en la Ría. Estas acciones están dirigidas fundamentalmente a:

- 1- Mejorar la calidad de los bancos marisqueros de la Ría.
- 2- Incrementar la superficie productiva de estos bancos.
- 3- Mantener el sustrato en condiciones adecuadas para el desarrollo de los recursos marisqueros.
- 4- Mejorar la capacidad profesional de los mariscadores.

De este modo, las actividades incluidas en dicho Plan de Recuperación para alcanzar los objetivos anteriormente comentados son:

- a) Limpieza de mejillón y restos antropógenos.
- b) Acciones de acondicionamiento del sustrato.
- c) Desarrollo de acciones de semicultivo.
- d) Traslado de almeja desde el parque de cultivo a los bancos naturales.
- e) Acciones de rareo y traslado entre bancos.

Después de tres años de aplicación de este plan, el futuro de la producción marisquera en la Ría de O Burgo cabe verlo con optimismo, pues se ha superado el riesgo de su degradación por falta de actividad y porque los últimos análisis microbiológicos efectuados en sus zonas de producción revelan una notable mejoría, que ha propiciado que se proponga el cambio de categoría “C” a “B” para las zonas extractivas GAL-05/03 y GAL-05/05, manteniéndose la clasificación de “B” para la zona GAL-05/04 y permaneciendo únicamente como zona “C” la denominada GAL-05/06, que es la zona más interna de la Ría.

5- ANÁLISIS DE LOS TRABAJOS REALIZADOS Y PROPUESTAS DE MEJORA.

Tal y como hemos visto, técnicamente el trabajo realizado en los últimos años en el ámbito de la Ría del Burgo es muy bueno, habiéndose realizado un exhaustivo trabajo de campo y de modelización numérica, habiéndose empleado técnicas muy avanzadas, tanto en la parte de la hidrología, la hidráulica de las redes o la hidrodinámica y calidad de la Ría. Por lo tanto, en este sentido, nada se puede añadir y no cabe más que reconocer y admirar el excelente trabajo realizado a través del Plan de Saneamiento de la Ría de O Burgo.

Sin embargo, hay otros aspectos, también muy importantes en este contexto, que han sido más descuidados, como los sociales o los económicos. Por ello, se realizan algunas propuestas que pueden ser de interés. Siguiendo la filosofía de la gestión integral de las aguas pluviales, enunciada en el capítulo anterior, la idea general sería incorporar medidas sociales que involucrasen a toda la población y a todos los sectores económicos de esta área para que, en la medida de lo posible,

autogestionasen sus aguas pluviales y redujesen la contaminación aportada; y medidas económicas que incentivasen las acciones anteriores. Por todo ello, sería importante:

- 1- Una vez hechos los estudios técnicos, sería necesario completarlos con estudios medioambientales, económicos y sociales, para poder plantear estrategias integrales.
 - a. Habría que analizar cuáles son las implicaciones medioambientales de la mala gestión del saneamiento realizada hasta ahora, no quedándose en análisis físico químico de las aguas, sino estudiando qué valores ecológicos se han perdido por el camino y la posibilidad y el interés de recuperarlos. En este sentido, la directiva marco del agua, que se ha dejado un poco de lado en los trabajos realizados en este contexto, debería ser el marco de referencia.
 - b. Desde el punto de vista económico, sería interesante evaluar económicamente las consecuencias del estado ecológico que presenta la Ría del Burgo:
 - c. Desde un punto de vista social, habría que identificar a los principales actores relacionados con la gestión de las aguas pluviales en este ámbito territorial y en qué les perjudica y en qué les beneficia el estado actual de la Ría y cuáles serían sus principales demandas e intereses en este sentido.
- 2- Una vez hecho un diagnóstico completo de la situación de partida, tocaría una etapa de planificación estratégica, con la participación de todos los actores involucrados.
 - a. Con los modelos realizados, las consecuencias de cualquier solución técnica sobre la calidad físico - química de la Ría se pueden evaluar. Habría que completar los modelos para tener en cuenta los aspectos medioambientales, económicos y sociales, de tal modo que la mejor solución no sea aquella que más reduce el valor de determinados parámetros físico – químicos en la Ría, sino la que consigue el buen estado de las masas de agua que conforman la Ría (ecológico y químico) de una manera económicamente eficaz y con una contribución socialmente equitativa.
 - b. En esta etapa de planificación sería fundamental plantearse qué modelo de gestión de las aguas pluviales queremos a día de hoy, pero también en el futuro. En un caso como el del área metropolitana de A Coruña, con los datos disponibles, se podría pensar en completar la red unitaria existente con medidas estructurales, como tanques de tormenta, que mejorarían la situación de la Ría en el corto plazo, siempre que no se modifiquen las condiciones de la situación actual. Pero al plantear este tipo de soluciones hay que tener presente que pueden condicionar futuros desarrollos, que tendrán siempre una limitación de caudal impuesta por unos bombeos cuya capacidad no se puede incrementar sin ampliar la EDAR de Bens y con unas extensas redes en

las que es prácticamente imposible limitar la infiltración. Además, adoptar esta solución no evita tener que intervenir sobre una red que en pocos años habrá alcanzado su vida útil.

- c. Por todo ello, la planificación tiene que ir más allá, y plantearse qué modelo de área metropolitana queremos en el futuro y cómo se encaja la gestión de las aguas pluviales en ese modelo. Para lograr esto, es necesaria la implicación de toda la sociedad del área metropolitana: ayuntamientos, administración autonómica, administración estatal, asociaciones, empresas, etc. Y en este debate no hay que participar con prejuicios condicionados por la situación actual, sino que tiene que estar abierto a replantearse completamente el modelo de gestión desarrollado hasta la fecha.

- i. Teniendo en cuenta que en un plazo de 25-30 años seguramente todas las redes habrán sido sustituidas, en la planificación a largo plazo hay que analizar la posibilidad de implantar un sistema de redes separativas.
- ii. Del mismo modo, tampoco es descabellado plantearse un nuevo modelo basado en pequeñas depuradoras que de un modo eficiente traten las aguas de su población circundante, en lugar de tener que llevar todas estas aguas a través de extensas redes, en las que es imposible controlar la infiltración, a Bens.
- iii. El debate sobre los usos del suelo en la cuenca también tendría que estar abierto. Así, habría que profundizar en la compatibilidad de las actividades ganaderas y agrícolas en la cuenca con los usos marisqueros y la contaminación de base que presenta la Ría; la compatibilidad de la presión urbana sobre los anteriores; la posibilidad de desarrollar nuevos espacios industriales; la sostenibilidad de todos los usos anteriores y su compatibilidad con un estado ecológico bueno de todas las masas de agua.

- 3- Las estrategias que se planteen en esta fase no sólo deberían consistir en acciones estructurales, sino también en medidas de gestión. Así, sería interesante:

- a. Realizar en toda esta zona un catastro de aguas pluviales, de tal modo que se pueda saber cuál es el recorrido de cualquier gota de agua que caiga en esta zona. En este sentido, habría que exigir que cualquier actuación (actual y futura) sobre el territorio que pueda alterar las aguas pluviales, quedase reflejada en este catastro, pudiéndose determinar con sencillez sus repercusiones.

- b. También habría que obligar a que los destinatarios de estas actuaciones (públicos o privados) asumieran todos los gastos derivados de su transporte y tratamiento y de los posibles cambios en las infraestructuras existentes, hasta conseguir una verdadera recuperación de costes. La existencia de tasas de alcantarillado homogéneas en todos los ayuntamientos facilitaría esta acción. Además, en estas tasas se debería distinguir claramente lo que se paga por la gestión de las aguas pluviales y de las aguas fecales, de tal modo que se pudiesen establecer incentivos adecuados a quien autogestione sus pluviales.
 - c. En este sentido, y dado que las redes son fundamentalmente unitarias, sería importante que todo el sistema de saneamiento de esta zona se gestionase de manera conjunta (mancomunadamente o mediante otros mecanismos), tanto el tratamiento realizado en la EDAR de Bens como el mantenimiento de las redes existentes o la construcción de nuevas infraestructuras o la adopción de medidas de gestión.
 - d. Este nuevo modelo de gestión debería adoptar medidas para poner en valor las aguas pluviales (actividades formativas, carteles informativos, exposiciones, etc.) e, incluso, con las limitaciones que en este sentido presentan las redes unitarias, debería tratar de desenterrarlas e incorporarlas a la propia ciudad, adoptando sistemas de drenaje urbano sostenible y tratando de gestionar las pluviales en el lugar de origen.
 - e. Por otro lado, todas las medidas anteriores se deberían acompañar de incentivos económicos adecuados para aumentar las desconexiones de bajantes y sumideros a las redes y fomentar la autogestión, para disminuir las cargas contaminantes de las pluviales, para reducir las infiltraciones, para fomentar la implantación de pavimentos porosos, para la construcción de cubiertas verdes, etc.
- 4- Por último, este nuevo modelo tendría que tener una realimentación continua. Habría que verificar que las estrategias adoptadas son adecuadas para conseguir los objetivos establecidos (medioambientales, económicos y sociales) y establecer mecanismos para adaptarse con eficacia a nuevas situaciones o contextos que puedan aparecer, contando siempre con la participación activa de todos los actores implicados.

- CAPÍTULO 11 -

APLICACIONES AL ÁREA METROPOLITANA DE ZARAGOZA.

1- INTRODUCCIÓN.

La ciudad de Zaragoza, con una población según censo 2011 de 674.725 habitantes, está rodeada de un abundante medio rural. Es atravesada por las aguas del curso medio del río Ebro, y por dos importantes afluentes, uno ibérico, el río Huerva, y otro pirenaico, el río Gállego. Por tanto la red hidrográfica del municipio se estructura en función de los ríos mencionados, que constituyen los únicos cursos de agua naturales permanentes.

La cuenca del río Ebro en Zaragoza es de 40.400 Km², con una pendiente media del 0,1% y una cota de 190 msnm. Cuando el río Ebro llega a Zaragoza lleva bastantes kilómetros sin recibir un afluente importante, exactamente desde Castejón donde recibe el río Aragón. El río Ebro ha supuesto para la ciudad de Zaragoza un límite que hasta hace no mucho tiempo no había sido flanqueado. Cuando la ciudad se amplía y cruza el río desarrollándose en su margen izquierda es cuando se producen las mayores afecciones en el entorno fluvial, no tomándose clara conciencia del papel que el río debe jugar en el futuro de la ciudad. Los caudales que el río Ebro transporta en la ciudad van desde los 5 m³/s hasta máximos de 3.000 y 4.000 m³/s.

El resto de cursos fluviales del municipio no constituyen corrientes continuas. Se trata de barrancos que únicamente llevan agua a raíz de fuertes precipitaciones, y que en ocasiones producen importantes caudales de avenida. Dicha red se estructura de tal forma que forma un colector principal que en muchos casos no llega a desaguar en los ríos Ebro, Gállego o Huerva, sino que va a parar a zonas de cultivo, acequias y áreas habitadas.

Los ríos de la ciudad de Zaragoza que deberían ser la espina dorsal del sistema de espacios libres, no cumplen esa misión actualmente, distinguiéndose los siguientes espacios:

- Corredor del Ebro, con tramo urbano y agrícola de regadío. Como rama lateral, riberas del Huerva hasta Paseo de Constitución.

- Corredor del Canal Imperial, en el que se integran parques actuales como Primo de Ribera, parte de los pinares de Venecia, Pignatelli o La Paz.
- Revuelta del Ebro o meandro de Ranillas, donde se sustituyó terrenos agrícolas por la construcción de la Expo 2008.
- Huerta de las Fuentes
- Parque estepario situado al sur del cuarto cinturón, que constituye una singularidad propia del valle medio del Ebro.

La zona de Huerta de Zaragoza, muy productiva históricamente por la confluencia de los tres ríos en la ciudad, debido a la presión urbanística y al crecimiento de la ciudad, lleva una tendencia decreciente, quedando en la actualidad unas 330 hectáreas de cultivo en la Huerta de Las Fuentes.

2- CARACTERÍSTICAS DEL SANEAMIENTO

La ciudad dispone de una red de saneamiento fundamentalmente unitaria, ya que solamente se está introduciendo red separativa en zonas de nueva urbanización. Todo el municipio desagua en dos instalaciones de depuración tal y como se indica en el esquema adjunto. (EDAR de La Cartuja y EDAR de la Almozara).

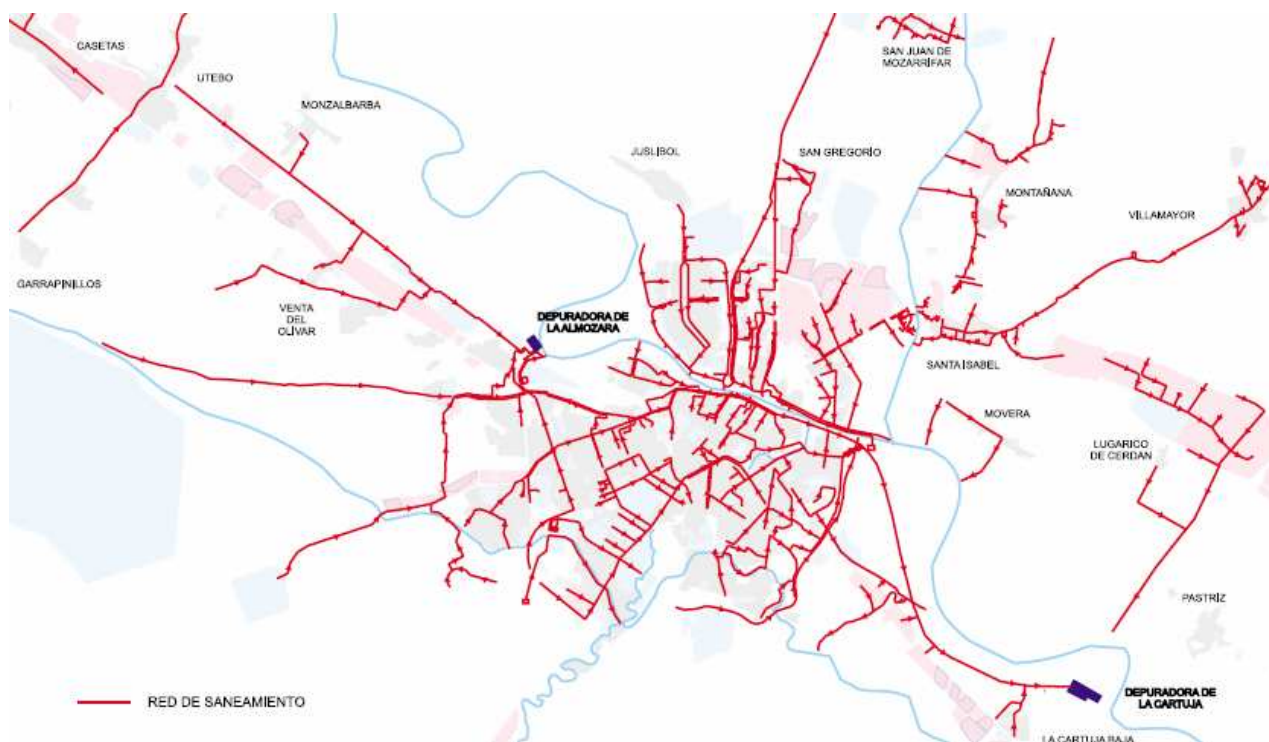


Fig 11.1 Esquema red saneamiento Zaragoza (PGOU)

Ver anejo 7 plano ampliado de la red de saneamiento

Edar LA CARTUJA:

Datos de diseño: Habitantes equivalentes: 1.020.000 heq
Caudal diario: 216.000 m³/día
Caudal máximo a tratar durante lluvia: 518.400 m³/día

Datos de tratamiento de 2.010

Caudal tratado: 55.759.130 m³

	SST	DBO ₅	DQO	Pt
Agua bruta	377	324	667	8,9
Agua tratada	20	11	86	1,3
Rendimiento (%)	94,7	96,6	87,1	85,4

Edar LA ALMOZARA:

Datos de diseño: Habitantes equivalentes: 100.000 heq
Caudal diario: 34.560 m³/día
Caudal máximo a tratar durante lluvia: 51.840 m³/día

Datos de tratamiento de 2.010

Caudal tratado: 11.017.484 m³

	SST	DBO ₅	DQO
Agua bruta	215	209	425
Agua tratada	16	11	67
Rendimiento (%)	94,6	94,7	84,2

La eliminación de fósforo en la Edar de La Almozara ha comenzado a realizarse en 2.011.

Los vertidos de la ciudad de Zaragoza, representan una población equivalente de casi 1.000.000 habitantes sobre los casi 700.000 censados. La ciudad de Zaragoza depura adecuadamente el 98 % de esta carga. Quedan pendientes de depuración los barrios rurales de Casetas, Garrapinillos, Villarapa, Movera, Juslibol y Peñaflor, y una pequeña zona de la Carretera de Castellón que vierte a un escuridero de la zona.

A continuación se indica una gráfica donde se muestra la evolución de la relación entre caudales consumidos y caudales depurados, donde se ve el esfuerzo que se está realizando en la incorporación de vertidos a los sistemas de depuración, ya que en 15 años el agua depurada ha pasado de representar del orden del 80% del agua consumida al 110%.

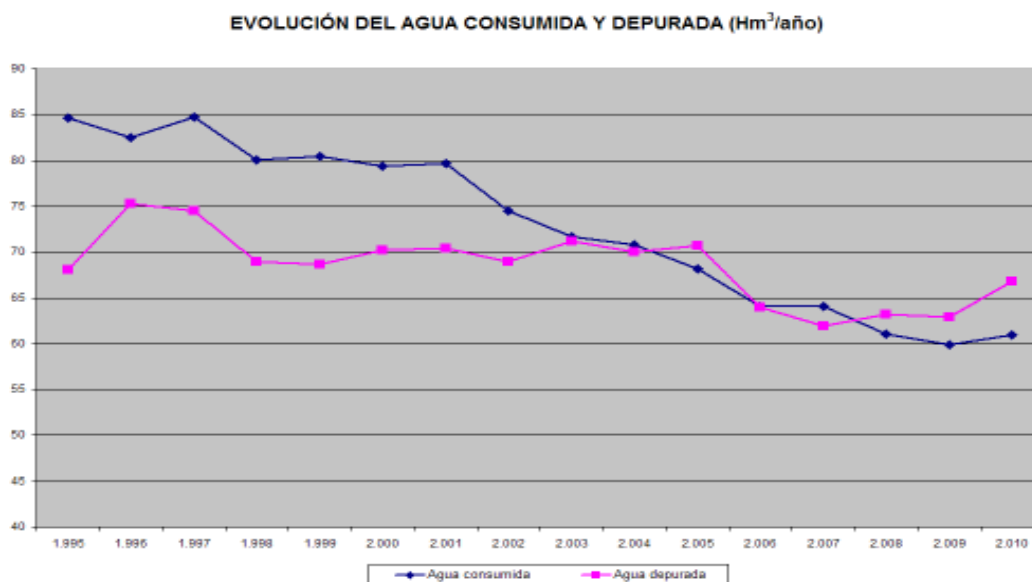


Fig 11.2 Alcance y limitaciones de los sistemas urbanos de saneamiento (Departamento Conservación y Explotación de Infraestructuras, Ayto. Zaragoza)

La red de saneamiento está modelizada con INFOWORKS y en fase de calibración; está instrumentalizada con medidores de nivel de lámina de agua, que toman datos en los episodios de lluvia cada 2 minutos, pero no se cuenta con datos de calidad a lo largo de la red.

3- ESTADO MASAS DE AGUA

Según el informe de situación CEMAS 2010 de la CHE, la evaluación del estado ecológico de las masas de agua en los alrededores de Zaragoza, está diagnosticado como inferior a bueno.

El estado de estas masas de agua es:

- Río Ebro desde el río Arba de Luesia hasta río Jalón (451): Estado ecológico bueno pero con riesgo alto de incumplir
- Río Ebro desde el río Jalón hasta río Huerva (452): Estado inferior a bueno, Estado ecológico moderado, con riesgo de incumplimiento medio
- Río Ebro desde el río Gállego hasta el río Ginel (454): Estado inferior a bueno, Estado ecológico moderado, Estado químico no bueno, con riesgo de incumplimiento medio

- Río Ebro desde río Ginel hasta río Aguas Vivas (455): Estado inferior a bueno, Estado ecológico moderado, con riesgo de incumplimiento alto
- Río Gállego desde río Sotón hasta río Ebro (426): Estado inferior a bueno, Estado ecológico deficiente, Estado químico bueno, con riesgo de incumplimiento medio
- Río Huerva desde la presa de Mezalocha hasta río Ebro (115): Estado deficiente, con riesgo alto de incumplimiento. A esto hay que sumar la presencia de sustancias peligrosas (Níquel y nonilfenoles).

MAS	Nombre descriptivo de la MAS	Tipo	Nat	Riesgo	EE	EQ	EF
451	Río Ebro desde el río Arba de Luesia hasta el río Jalón.	117	1	ALTO	B		BUENO
426	Río Gállego desde el río Sotón hasta su desembocadura en el río Ebro.	115	1	ALTO	Def	BUENO	INFERIOR A BUENO
452	Río Ebro desde el río Jalón hasta el río Huerva.	117	1	MEDIO	Mo		INFERIOR A BUENO
454	Río Ebro desde el río Gállego hasta el río Ginel.	117	1	ALTO	Mo	NO BUENO	INFERIOR A BUENO
455	Río Ebro desde el río Ginel hasta el río Aguas Vivas.	117	1	ALTO	Mo		INFERIOR A BUENO

Fig 11.3 Evaluación del estado de las masas de agua, Informe CEMAS 2010, CHE

El río Ebro tiene buena calidad hasta la desembocadura del río Jalón y en esta incorporación disminuye su calidad. La cuenca de Jalón, en este tramo, recibía los vertidos de poblaciones sin tratamiento de depuración, hasta finales de 2.011. En la actualidad las aglomeraciones urbanas más importantes cuentan ya con sistema de depuración; la de mayor tamaño es la Edar de La Almunia de Doña Godina, que depura además las poblaciones de Almonacid de la Sierra, Calatorao y Riela, que entró en explotación en diciembre de 2011, con un diseño de 28.350 heq; en fechas anteriores entró en explotación la Edar de Lumpiaque, de 3.000 heq. Estas infraestructuras conseguirán mejorar la calidad del agua en esta cuenca y así se reflejará en los próximos informes CEMAS.

A continuación recibe al incorporación del río Huerva, este tramo en estado deficiente debido a varios vertidos sin conectar de agua residuales urbanas e industriales, al colector que finaliza en la Edar de Cuarte de Huerva, que funciona correctamente, pero que no es suficiente para mejorar su estado. Esta Edar recoge los vertidos “conectados” a un colector de 32 Km, que discurre desde Mezalocha hasta Cuarte de Huerva, contando en su trayecto con 16 tanques de tormenta. En este tramo también se han encontrado sustancias peligrosas como Nonilfenol, Selenio y Níquel en el agua, así como metales pesados en los sedimentos.

AGUAS RESIDUALES:

- **Caudal medio: 2,1 m³/sg**
- **Caudal punta: 3,2 m³/sg**
- **Aportación anual: 67 Hm³/año**

AGUAS DE LLUVIA:

- **Caudal medio:**
- **Caudal punta: 100-200 m³/sg**
- **Aportación anual: 9-15 Hm³/año**

La capacidad de tratamiento de la depuradora de La Cartuja más La Almozara es la siguiente:

- **Caudal medio: : 3,4 m³/sg**
- **Caudal punta aguas residuales: 5,1 m³/sg**
- **Caudal máximo hidráulico con lluvias: 6,8m³/sg**

Como se puede comprobar por estos datos, el tratamiento de las aguas pluviales con la escorrentía derivada, es prácticamente inasumible por el sistema de depuración, ya que frente a un caudal punta de lluvia de 100 m³/sg, el máximo caudal tratable se queda en 6,8 m³/sg. Visto el estado ecológico del Ebro, se debe considerar la gestión las aguas pluviales como un reto importante por parte de las Administraciones, de cara a la protección del medio receptor.

Probablemente, es la problemática relativa a inundaciones en la que el Ayuntamiento ha centrado mayores esfuerzos, hasta la fecha, en cuanto a la gestión del agua de lluvia; la gestión de las inundaciones en la ciudad tiene dos componentes en función del origen, bien por una gran avenida de alguno de los ríos que atraviesan la ciudad, bien por fenómenos tormentosos o lluvias intensas en el área metropolitana.

Frente a situaciones de crecidas, por ejemplo con caudales de más de 4.000 m³/sg para periodos de retorno de 100 años del río Ebro, el Ayuntamiento, dentro de su plan de recuperación de riberas con motivo de la Expo 2008, ha protegido las zonas más bajas frente a crecidas de un periodo de retorno de 500 años. Actualmente Zaragoza cuenta con dos tanques de tormentas situados en Valle de Broto (bomberos) y en el final de la Avda de San Juan de la Peña, tanques cuya finalidad es la de evitar inundaciones en momentos de lluvias intensas.

En nuevas urbanizaciones, como Valdespartera, se ha realizado una red separativa de aguas pluviales y residuales. Las aguas pluviales vierten al río Huerva en un punto próximo a la Fuente de la

Junquera, sin embargo, se ha dispuesto también de tanques de tormentas que recogen las primeras aguas de lluvia más cargadas de suciedad, las cuales se bombean a la red de residuales para ser tratadas en las instalaciones de depuración.

También se recogen los drenajes del cuarto cinturón, construyéndose unas balsas de laminación donde se pueden almacenar hasta 90.000 m³.

El Ayuntamiento de Zaragoza, a través de la **nueva ordenanza para la ecoeficiencia y calidad en la gestión integral del agua**, establece con carácter general que las nuevas urbanizaciones se construyan redes de alcantarillado separativas para lograr reducir el vertido de materias contaminantes en momentos de lluvia y recoge en el Anexo III los requisitos de instalación de tanques de tormentas y laminación.

Artículo 69. Alcantarillado separativo.

1. Con carácter general en las nuevas urbanizaciones y polígonos industriales, con una superficie superior a tres hectáreas (3 ha) y cuando sea factible a juicio de los servicios técnicos municipales, se implantará red separativa de aguas residuales y pluviales. La red de pluviales conducirá las aguas de lluvia a un depósito, donde se controlará que el agua almacenada reúna las condiciones higiénico-sanitarias adecuadas al uso a que se destine. Los residuos sólidos que se generen en el sistema de recepción no podrán verterse a los colectores municipales.
2. Cuando no se considere factible el alcantarillado separativo, deberá presentarse un informe justificativo, para que la propuesta pueda ser admitida por los servicios técnicos municipales.
3. La utilización del agua proveniente del depósito será para el riego de parques y jardines y limpieza de exteriores. El desborde de este depósito podrá estar conectado a la red de aguas residuales urbanas.
4. Podrán contemplarse medidas tendentes a favorecer la infiltración superficial de aguas de lluvia, siempre que se justifique adecuadamente que dichas medidas no pueden dar lugar a efectos geotécnicos negativos en el subsuelo.

A este respecto, técnicos del Departamento de conservación y mantenimiento de infraestructuras del Ayuntamiento de Zaragoza, han reconocido que se están detectando errores en la conexión de las acometidas de residuales en las urbanizaciones con redes separativas, que en algunos casos, se realizan a la red equivocada, lo que les está obligando a extremar el control en las acometidas particulares.

En Mayo de 2.011, tras un intenso episodio de lluvias, la CHE comunica al Ayuntamiento, la incidencia de un notable descenso en la concentración de O.D detectado en la Estación de control aguas debajo de Zaragoza, en el azud de Pina, supuestamente causada por DSU.

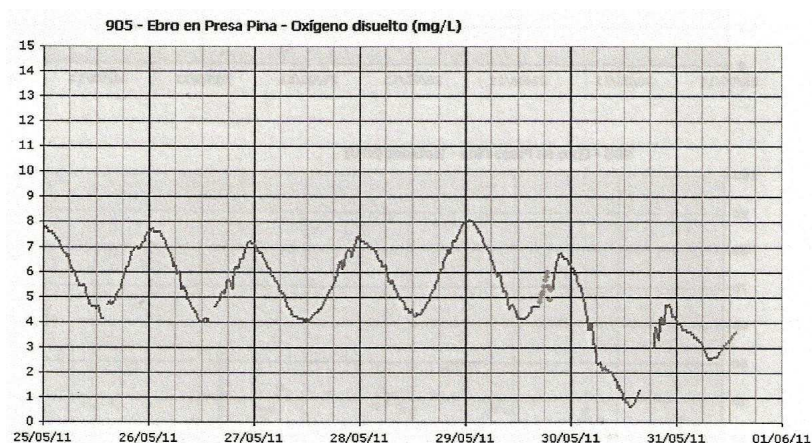


Fig 11.5 Gráfico O.D en Ebro en Presa Pina; Alcance y limitaciones de los sistemas urbanos de saneamiento
(Departamento Conservación y Explotación de Infraestructuras, Ayto. Zaragoza)

Otro problema importante es la incorporación de aguas de escurrideros al alcantarillado, ya que antes se consideraba beneficiosa por que mantenía limpio el alcantarillado. Sin embargo esta incorporación de agua hace que aumente extraordinariamente el caudal que llega a la depuradora.

5- PROPUESTA DE ACTUACIONES DE LAS ADMINISTRACIONES IMPLICADAS

Para la mejora en materia de saneamiento de la ciudad, el Ayuntamiento de Zaragoza prevé las siguientes actuaciones y finalidades:

- Completar la depuración de las aguas residuales: quedan 6 pequeños barrios rurales que representan una población en torno a 20.000 heq, (un 2% de la carga contaminante de la ciudad) sin depurar. Los barrios de Casetas, Garrapinillos y Villarrapa, se conectarán a la Edar de Utebo, proyecto que realiza el Gobierno de Aragón. Los proyectos para los otros tres barrios: Juslibol, se conectará al colector de la Avda. Ranillas, para ser tratado en la Edar de La Cartuja; Movera, a través de un colector se conectará con el emisario del polígono Malpica, para tratarse en la misma Edar y Peñaflo, que queda al margen de posibles conexiones, se construirá una pequeña Edar para su tratamiento.
- Evitar inundaciones en momentos de lluvia intensa en puntos carentes de desagüe natural. Actualmente se encuentra en servicio el tanque de tormentas situado en San Juan de la Peña y se prevé construir otro en la zona de Valle de Broto.
- Renovación de la red de alcantarillado en zonas que presentan problemas, debido a su mal estado.
- Mejora de la gestión de las aguas de lluvia. Para ello se han redactado dos proyectos de tanques de tormentas, situados en las inmediaciones de los puntos de alivio de caudales de lluvia de los principales colectores de las márgenes derecha e izquierda del río Ebro, situados

ambos tanques en el barrio de las Fuentes y en las inmediaciones de la desembocadura del río Gállego, con unas capacidades de 8.000 y 10.000 m³.

- Actualmente existe un inventario de puntos de vertidos (entre 50-60), en zonas altamente urbanizadas, lo que impide la instalación de tanques de tormenta y dificulta la implementación de medidas alternativas de gestión.
- Mejora de la zona de salida de la depuradora de La Cartuja con eliminación de espumas.
- En cuanto a SUDS, se han probado alguna de estas tecnologías:
 - Plaza pública inundable en Monte Venecia.
 - Laguna artificial de Montecanal.
 - Debido al problema que presenta Zaragoza con las dolinas, se tiene mucha precaución en infiltrar aguas en el subsuelo.

En estos momentos, el Ayuntamiento de Zaragoza, en el marco del Plan de Acción de la Agenda 21 Local, ha impulsado, junto con otras entidades y empresas del sector, el cluster urbano para el uso eficiente del agua, que promoverá la investigación aplicada a la ciudad de Zaragoza de nuevas tecnologías innovadoras para la gestión eficiente del agua. Entre otras cabe destacar las siguientes iniciativas:

- Proyecto de investigación sobre hidrogeología urbana de Zaragoza, que busca integrar toda la información relativa al subsuelo en una plataforma de información espacial avanzada para ponerla en valor y permitir su explotación de cara a **mejorar la eficiencia en la gestión del acuífero urbano**. Los resultados de dicho proyecto facilitarán un mejor conocimiento de la dinámica de las aguas subterráneas y permitirá analizar la viabilidad de la aplicación de algunas SUDS en el entorno urbano de Zaragoza que inicialmente han sido descartadas siguiendo el principio de precaución.
- *Waterlabs: habilitar entornos para la experimentación en Zaragoza*, como espacio para la experimentación, para probar y testear la eficacia de las buenas prácticas, soluciones y tecnologías existentes para la eficiencia y la sostenibilidad del uso del agua, en términos de consumo de agua y de energía. La Comisión Técnica constituida para impulsar este proyecto cuenta con un experto en SUDS, lo que indica un interés por abordar la problemática de gestión de pluviales en el entorno urbano.

En cuanto a reutilización de agua, el único caso es en el proceso de la deshidratación de los fangos del proceso de potabilización, que permite recuperar 5 hm³/año; la existencia de un nivel freático abundante y bastante superficial hace que no hayan planteado más posibles reutilizaciones.

Sobre las actuaciones del **Organismo de Cuenca (CHE)**, en el **Programa de Medidas, propuestas para incluir** en el Plan Hidrológico del Ebro (2010-2015) se incluyen varias relativas a la contaminación asociada a periodos de lluvia, todas ellas planteadas por Agentes Sociales:

- En Zaragoza, la eliminación total, a lo largo de todo el tramo urbano hasta La Cartuja, de todos los aliviaderos de los colectores de aguas de aguas residuales urbanas e industriales, así como solucionar implementar tanques para agua de tormenta.
- Estudio de tratamiento de las aguas pluviales en los núcleos urbanos para evitar que se mezclen con las aguas residuales, se contaminen y limiten la capacidad de la depuración de las Edar.
- Planes de prevención de contaminación por aguas de tormenta a lo largo del corredor del Ebro, que reduzca el volumen de residuos sólidos en el río y sus riberas y minimice la carga de sedimentos que llegan al río después de una tempestad. Diseñar un sistema de recogida de residuos sólidos que son arrastrados por los afluentes del Ebro y los escurrideros.

La otra Administración implicada, el **Gobierno de Aragón**, que a través del Instituto Aragonés del Agua realiza actuaciones en materia de saneamiento, tiene pendiente por construir la Edar de Utebo, que recogerá los vertidos de Utebo, Casetas, La Josoya, Marlofa, Penseque, Sobradiel, Torres de Berrellén, Garrapinillos y Villarrapa (133.000 heq). Esta depuradora contribuirá de manera notable a la mejora de la calidad de las agua del río Ebro.

6- CONCLUSIONES

Al contrario que en otras ciudades costeras como Barcelona, A Coruña o Santander, donde las SUDS están siendo poco a poco incorporados en la legislación y en actuaciones de las entidades locales, en Zaragoza no existen actividades económicas relevantes que se sientan directamente afectadas por los impactos que provocan las DSU. Así, en A Coruña, los impactos sobre el medio receptor afectan directamente en las actividades piscícolas, y en Barcelona, una mala gestión de las aguas pluviales que provoque contaminación elevada en las playas, puede conllevar la pérdida de turismo. Esto se traduce en que estas ciudades hayan liderado el proceso de implementación de una batería de medidas para resolver la problemática del drenaje urbano, como ha quedado reflejado a lo largo de este estudio.

No obstante, socialmente es un tema que preocupa, como así se ha demostrado y ha quedado reflejado en algunas de las propuestas de medidas concretas y relativas a vertidos ocasionados en periodos de lluvia, planteadas por diversos Agentes Sociales.

Por el momento, las Administraciones implicadas, se plantean como prioritario terminar con las infraestructuras de saneamiento que todavía faltan por construir, alguna de ellas de especial relevancia y entidad como es el caso de la Edar de Utebo. En el caso del Ayuntamiento, las nuevas infraestructuras que se incorporarán a la red de saneamiento, básicamente tanques de tormenta, están diseñadas bajo la óptica de lucha contra las inundaciones, dejando la problemática de los impactos producidos en el medio receptor en un segundo plano.

A nivel legislativo, desde el Ayuntamiento, se ha dado un paso importante a través de la nueva ordenanza para la ecoeficiencia y calidad en la gestión integral del agua, estableciendo con carácter general, que las nuevas urbanizaciones se construyan con redes de alcantarillado separativas para lograr reducir el vertido de materias contaminantes en momentos de lluvia. Ahora toca la comprobación de que hay fallos en las conexiones, que como se ha comentado, son más frecuentes de lo deseado; para ello, deberá mejorar su capacidad de seguimiento de medidas implementadas, controlar la obligatoriedad de conectar todas las acometidas a la red municipal y además, inspeccionar las conexiones de caudales procedentes de acequias de riego, escurideros, cauces públicos, etc, ya que se provoca el incremento de caudal que llega a la Edar, dificultando y encareciendo su tratamiento.

Por otra parte, como hemos detallado anteriormente, el Ayuntamiento muestra interés en conocer con mayor profundidad la problemática asociada a la gestión de aguas de lluvia y promueve procesos de investigación aplicada que permitan plantear sistemas avanzados de gestión de los sistemas de drenaje y saneamiento de la ciudad de Zaragoza.

No obstante, quedan tareas importantes para avanzar en la resolución de la problemática de gestión de las aguas pluviales en la ciudad de Zaragoza.

Primero, para plantear una gestión eficiente y avanzada de los sistemas de drenaje y saneamiento es esencial un conocimiento preciso del sistema que permita un diagnóstico profundo de la problemática. El Ayuntamiento de Zaragoza ha realizado una fuerte inversión para modelizar la red a través de un programa comercial con altas prestaciones, aunque de momento dicho programa no está calibrado por lo que los resultados de las simulaciones ofrecen todavía grandes incertidumbres. Por

otra parte, la red no está instrumentalizada, por lo que el control en tiempo real no es posible, limitando mucho la eficiencia en la operación.

Los mecanismos de coordinación entre todas las Administraciones involucradas en la problemática son débiles y no están claramente establecidos los órganos de coordinación ni la atribución de responsabilidades; por ejemplo, para garantizar el cumplimiento del objetivo de buen estado ecológico de las masas de agua marcado por la DMA, sería necesario que el Ayuntamiento de Zaragoza y la Confederación Hidrográfica del Ebro realizaran un análisis conjunto de los impactos en el medio receptor de los alivios de los sistemas unitarios en tiempo de lluvia, diseñando un programa de medidas que permitiera alcanzar dicho objetivo. Y junto con la otra Administración implicada, el Instituto Aragonés del Agua y con aquellas entidades de atención en casos de emergencias (p.e bomberos) sería interesante diseñar planes conjuntos de emergencias para los casos de inundaciones.

Finalmente, los SUDS deben de integrarse en el espacio urbano y tenerse en cuenta en la planificación global de la ciudad. Así, planteamos que se haga un seguimiento exhaustivo de las experiencias ya implementadas en la ciudad de Zaragoza, para conocer la eficiencia de las distintas técnicas y estudiar su aplicabilidad en otros ámbitos de la ciudad. Además, dentro del marco del proyecto Waterlabs, se podría incluir nuevas y distintas técnicas SUDS en el entorno urbano con el mismo fin, y conectar los resultados obtenidos a la red de entidades en España, que ya están trabajando en este tema. Así se conseguiría rentabilizar al máximo las distintas experiencias para avanzar en el aprendizaje y divulgación de estas nuevas formas de gestión en nuestro país. Así mismo, sería necesario trabajar en:

- Programas de concienciación ciudadana (el Ayuntamiento ya tiene experiencia de los buenos resultados del programa “Zaragoza, ciudad ahorradora de agua”).
- Establecimiento de instrumentos económicos para financiar mejoras en las redes
- Uso de indicadores para la evaluación de las medidas implantadas y divulgación de los resultados
- Mejoras a nivel normativo, etc

- CAPÍTULO 12 -

CONCLUSIONES

En este trabajo hemos intentado analizar la gestión de las aguas pluviales con un enfoque lo más amplio posible, estudiando los problemas asociados a una gestión inexistente o ineficaz de las mismas y las principales soluciones que se están adoptando en España o a nivel europeo. Además, hemos detallado qué experiencias hay en este campo en dos áreas metropolitanas, la de la ciudad de A Coruña y la de Zaragoza.

Cuando hablamos de gestión de las pluviales nos estamos refiriendo a la mitigación de los principales problemas que pueden ocasionar estas aguas, pero también a su puesta en valor para los habitantes de las ciudades y la recuperación de los ecosistemas que llevan asociados.

Los problemas son debidos tanto a un exceso de agua, que puede provocar inundaciones, como a un deterioro de su calidad, que se hace patente a través de la contaminación y la degradación de los medios receptores de estas aguas. Estos dos tipos de problemas, además, se pueden agravar en los entornos urbanos. Así, se modifica la hidrología natural, convirtiéndose las calles, los aparcamientos, los tejados, etc. en nuevas cuencas prácticamente impermeables, pero que contienen potentes contaminantes que son arrastrados por el agua de lluvia, a través de extensas redes de tuberías que intentan esconder los problemas, hacia los cauces naturales. Además, estas redes de tuberías, en muchos casos, están diseñadas para transportar conjuntamente las aguas fecales con las aguas de lluvia (redes unitarias) y acaban, antes de su vertido al medio receptor, en una estación depuradora de aguas residuales (EDAR) que no está diseñada para recibir esas aguas pluviales. Por otro lado, incluso en los casos en los que exista una red específica para transportar las aguas pluviales, no suelen disponer de ningún elemento que frene su poder contaminante antes de su vertido al medio receptor y su capacidad no suele ser suficiente para desaguar cualquier episodio de lluvia, por lo que también son frecuentes pequeñas inundaciones, con desbordamientos a través de los pozos de registro.

El origen de estos problemas en ámbitos urbanos lo podemos establecer en el descontrolado crecimiento de las ciudades, que hace que se modifique el medio natural y el clima, provocando variaciones de la morfología del terreno, subsuelo, calidad del agua, flora, fauna....

Tal y como se ha visto a través de varios capítulos, el conocimiento de la hidrología de la zona es el punto de partida para poder llevar a cabo una gestión responsable de las aguas pluviales en entornos urbanos, siendo en la mayor parte de las ciudades deficitario o inexistente. Este conocimiento exige tener datos de lluvia y de la propia cuenca, para lo que hay que disponer de toda la información de campo posible y aprovechar la modelización numérica para optimizar la identificación de problemas y evaluación de soluciones. Además, esta información hay que complementarla con un profundo conocimiento de la química asociada a la contaminación que arrastran estas aguas y los daños medioambientales que pueden originar. Todo esto exige elevadas inversiones en campañas de campo para obtener información real de los parámetros más relevantes, pero los gestores no siempre quieren o pueden afrontar estos gastos. Por lo tanto, el conocimiento de la realidad hidrológica, química o medioambiental, que es el punto de partida de cualquier análisis serio de la gestión de las aguas pluviales, suele ser deficitario, con las consecuencias que esto tiene en las demás fases de estudio.

Pero no sólo suele ser deficitario el diagnóstico, sino también las soluciones. El objetivo debería ser llegar a tener ciudades sostenibles a largo plazo, y esto exige llevar a cabo una gestión integral de las aguas pluviales, contemplando el ciclo del agua en todo su conjunto (aguas subterráneas y superficiales, urbanas y rurales) y teniendo en cuenta todos los aspectos asociados a la hora de planificar la gestión integral de las aguas de lluvia: económicos, sociales y medioambientales. Para lograr estos objetivos existen numerosas técnicas, que han sido analizadas en este documento, como pueden ser: los SUDS, campañas de información, la participación pública, los incentivos económicos, la creación de nuevas tasas, etc.

Además, tal y como se ha planteado, la ordenación del territorio y el urbanismo son marcos de referencia adecuados para plantear las soluciones, y el amparo de la legislación la garantía de que realmente se van a lograr los objetivos establecidos. Sin embargo, del análisis de estas dos cuestiones también, se concluye que la situación no es la idónea. La gestión de las aguas pluviales no es considerada un tema importante y de interés. Todas las leyes, decretos o cualquier otra norma que establece alguna regulación sobre el tema, lo hace siempre de forma tangencial, sin afrontar el problema en su totalidad. Las herramientas legislativas que se proponen son siempre parciales e integradas en un marco general que poco o nada tiene que ver con las aguas pluviales.

A la vista de todo lo estudiado, la situación de la gestión de las pluviales en España dista mucho de ser la deseable. No obstante, podemos indicar que desde un punto de vista científico y técnico, en las últimas décadas se ha avanzado mucho en este campo y se ha puesto a disposición de los gestores

gran variedad de herramientas para realizar un buen diagnóstico de los problemas y para seleccionar las soluciones más adecuadas a cada situación.

Así, el estado de la ciencia es tal que se puede conocer con bastante precisión la hidrología de las cuencas rurales y urbanas y, con ello, los volúmenes de agua que serán vertidos a través de las redes de colectores (unitarias o separativas) a los medios receptores en tiempos de lluvia. Del mismo modo, también se puede estimar la contaminación que se arrastrará a través de estas redes a los cauces o a la costa y las principales consecuencias medioambientales de estos arrastres. Todo esto, además, puede estar monitorizado para tener información precisa del funcionamiento de todo el sistema de gestión de las aguas pluviales en tiempo real y poder adoptar las decisiones adecuadas a los distintos escenarios que se planteen. En este sentido, la ciudad de Barcelona es, en líneas generales, un ejemplo de ámbito urbano donde se ha puesto en práctica parte de este conocimiento.

Del mismo modo, desde un punto de vista económico y social, como disciplinas científicas, también existen herramientas y metodologías disponibles para analizar desde estas perspectivas las principales cuestiones asociadas a la gestión de las aguas pluviales, tanto a nivel de diagnóstico como de soluciones. Aquí se han destacado las experiencias en ámbitos sociales de América del Sur o en ámbitos económicos de EE.UU. y de países europeos como Alemania.

Entonces, ¿cuál es el problema? En nuestra opinión, existe un déficit de voluntad política para integrar todas estas visiones y aplicar todas las herramientas disponibles para llevar a cabo una gestión eficaz de las aguas pluviales.

Se trata de un tema con suficiente entidad en sí mismo como para que hubiese legislación específica sobre el tema. Sería legislación transversal, en el sentido de que habría que regular cuestiones que afectarían a la ordenación del territorio, a la planificación hidrológica, a la calidad de las aguas, a los hábitos constructivos, etc. Además, cualquier medida de gestión propuesta tendría que tener en cuenta la fuente del problema y las consecuencias, resolviendo, en donde sea posible, las cuestiones en el origen. Y todo ello, con mecanismos de participación pública y financieros adecuados para que, en la medida de lo posible, el problema sea resuelto por quien lo está generando, buscando el máximo consenso de toda la sociedad.

Así, sería interesante abarcar las siguientes cuestiones:

- 1- Desde el ámbito del urbanismo y de la ordenación del territorio,
 - a. Establecer mecanismos para coordinar las actuaciones de todos los agentes implicados en la gestión de las pluviales, adoptando una línea clara de actuación en este campo: administraciones, agentes sociales, los individuos particulares, etc., delimitando las competencias y las responsabilidades de cada uno.

- b. Regular el grado de impermeabilidad que se permite en ámbitos urbanos y adoptar medidas para que la impermeabilización de una parte del territorio y la alteración de su hidrología se compensase en otras áreas de la misma cuenca hidrográfica. También se deberían adoptar medidas para incrementar los tiempos de concentración a nivel de todo el sistema de saneamiento.
 - c. Tomar decisiones sobre el uso de redes unitarias o separativas o una combinación de ambas a una escala territorial suficientemente amplia, por lo menos a escala de sistema de explotación o de cuenca hidrográfica. Como ha quedado patente en distintas partes del trabajo, esta decisión no es evidente y depende en gran medida de las condiciones específicas de cada ámbito territorial concreto.
 - d. Adoptar una metodología clara para determinar, en cada cuenca hidrográfica, el estado actual y las consecuencias de esa situación, y el estado ideal, marcando un camino claro, con medidas estructurales o de gestión, incentivos, responsabilidades, sanciones, impuestos, etc. para llegar a esa situación ideal.
 - e. Cualquier decisión tiene que adoptarse teniendo claros cuáles son los objetivos a alcanzar en el largo plazo y los medios más económicos y eficaces para conseguirlos. Es importante afrontar estas decisiones con amplitud de miras y no condicionar las situaciones futuras a los modelos de gestión existentes en la actualidad. Si llegado el momento se demuestra que el modelo actual no permite alcanzar ese objetivo futuro, habrá que tener la valentía necesaria para cambiar de modelo, aunque eso implique reconocer errores cometidos en el pasado.
 - f. El planeamiento urbanístico no debería limitarse a regular el uso del suelo, sino que debería extenderse al subsuelo. En este sentido, habría que coordinar a los distintos usuarios del subsuelo e introducir prioridades, protegiendo de manera especial los grandes ejes de drenaje, por la gran rigidez que presentan para su implantación. Además, habría que incorporar especialistas en drenaje urbano a los equipos encargados de la planificación urbanística, que aporten sensibilidad y conocimientos técnicos.
- 2- Desde el punto de vista de las propias aguas, su calidad para distintos usos y su estado ecológico, sería importante regular las condiciones específicas en las que se pueden verter, a cauces o al mar, las aguas pluviales, tanto las procedentes de redes separativas como, sobre todo, las recogidas en redes unitarias. Esta regulación tendría que ser distinta, en función de las características del medio receptor; en este sentido, sería importante establecer una metodología compatible con la filosofía de la Directiva Marco del Agua. Además, sería

importante que la normativa marcara pautas para reconducir paulatinamente las actuaciones ya ejecutadas y en funcionamiento hacia esas nuevas condiciones.

- 3- Desde una perspectiva mucho más concreta, de edificación, de construcción o, en general, de cualquier actividad que pueda alterar la hidrología de una zona y, con ello, el régimen de las aguas pluviales, habría que legislar medidas que ayudasen a tomar conciencia del problema y que permitiesen que las soluciones tuvieran lugar en el lugar en donde se produjese la propia alteración y por cuenta de quien la está provocando. En este sentido, serían interesantes campañas formativas e informativas, incentivos económicos adecuados para el empleo de técnicas que retengan in situ las aguas pluviales, fomento de la reutilización, etc.

Todo este marco ideal planteado, además, tendría que ser suficientemente flexible como para poder adaptarse a las peculiaridades de cada territorio y a la idiosincrasia de cada zona. En este sentido, en nuestra opinión, no serían adecuadas medidas de gestión de las aguas pluviales impuestas de arriba hacia abajo y con carácter general, sino que, en todo caso, a partir de un profundo conocimiento de las necesidades concretas de cada parte del territorio, y de un verdadero proceso de participación pública activa, se deberían buscar los aspectos comunes que pudiesen servir de base para establecer marcos de actuación más generales.

Por todo ello, en este trabajo abogamos por una gestión integrada e integradora de las aguas pluviales, que, en cada ámbito territorial (cuenca hidrográfica o sistema de saneamiento), surja de un amplio acuerdo social. Así, proponemos que este *acuerdo* se materialice en un *contrato de gestión de las aguas pluviales*, que a través de un verdadero proceso de participación pública, vincule a todos los actores implicados, y en donde se vean reflejados los intereses y las demandas, las obligaciones y las responsabilidades de toda la sociedad en general.

BIBLIOGRAFÍA

[Publicación periódica]. - [s.l.] : IAHR/IWA Joint Committee on Urban Drainage.. - Newsletter No. 23.

Arrojo Pedro Los oscuros caminos de la privatización del agua en España [Conferencia] // IX Jornadas de Economía Crítica. - Madrid : [s.n.], 2004.

Auckland City Council Summary of Stormwater Asset Management Strategies [Informe]. - 2006.

Avruch Goldenfum Joel [y otros] Participative Master Plans in Brazil: a new forum to discuss sustainable urban water management [Conferencia] // 11th International Conference on Urban Drainage. - Edinburgh, Scotland, UK : [s.n.], 2008.

Ayuntamiento de Zaragoza: www.zaragoza.es

Beneyto González-Baylín María C. Tesis Doctoral [Sección de libro] // Evaluación de los rendimientos de depósitos de detención-aliviadero en redes de saneamiento unitarios en cuencas de la España húmeda / aut. libro Beneyto González-Baylín María C.. - A Coruña : [s.n.], 2004.

Bowers John y Young Mike Valuing Externalities: a methodology for urban water use [Informe]. - [s.l.] : CSIRO Urban Water Program, 2000.

Burian S. [y otros] Historical Development of Wet-Weather Flow Management [Publicación periódica] // Journal of water Resources Planning and Management. - 1999. - págs. 3-13.

Cabrera Enrique Agua y ciudad en el siglo XXI. Una visión panorámica. [Conferencia]. - Zaragoza : [s.n.], 2008.

Chouli E. Applying storm water management in Greek cities: learning [Publicación periódica] // Desalination 210. - 2007. - págs. 61–68.

Chouli E. y y Deutsch J-C Urban Storm Water Management in Europe: What are the costs and who should pay? [Conferencia] // 11th International Conference on Urban Drainage. - Edinburgh, Scotland, UK : [s.n.], 2008.

Committee on Reducing Stormwater Discharge Urban Stormwater Management in the United States [Libro]. - Washington, D.C. : THE NATIONAL ACADEMIES PRESS, 2009.

Confederación Hidrográfica del Ebro: www.chebro.es

De Toffol, Sara Sewer system performance assessment – an indicators based methodology. Tesis. Innsbruck, 2006.

Esteban i Noguera Juli Elementos de ordenación urbana [Publicación periódica] // Gaya Ciencia, Barcelona. - 1981.

Fuchs S., Brombach H. and Weiß G. New database on urban runoff pollution. Proceeding of NOVATECH'2004 - 5th International conference on sustainable techniques and strategies in urban water management (6.6.-10.6.2004), Lyon, France.

Gómez Bahillo, Carlos «Variables que determinan la ordenación del territorio», en: SAEZ OLIVITO, E. (coord.): *Desarrollo y ruralidad. La realidad chilena y española en el umbral del siglo XXI*. Diputación Provincial. Huesca, 2003.

González Martínez José Carlos Autorizaciones de vertidos de aguas residuales industriales a dominio público hidráulico [Conferencia] // I Jornadas técnicas de saneamiento y depuración. - Murcia : [s.n.], 2005.

Gray Nancy E. Lessons learned: Implementing a storm water public education program [Publicación periódica]. - Virginia : Virginia Town & City, 1995. - 4 : Vol. 40.

Grum M., Jorgensen A. T., Johansen R. M. y Linde J. J. The effect of climate change on urban drainage: An evaluation based on regional climate model simulation. *10th International Conference on Urban Drainage*, 21-26 August 2005, Copenhagen/Denmark.

Jong Pieter y Hobma Fred Water in urban areas and planning law [Conferencia] // Fifth international conference of the Platform of Experts in Planning Law. - Copenhagen : [s.n.], 2011.

Kaspersen J. The stormwater utility: will it work in your community? [Publicación periódica]. - [s.l.] : Stormwater. The Journal for Surface Water Quality Professionals, 2000.

Lambe L. [y otros] Performance and Whole Life Costs of Best Management Practices and Sustainable Urban Drainage Systems [Informe]. - [s.l.] : Alexandria VA: Water Environment Research Foundation, 2005.

Lefèvre Benoit Desarrollo sostenible y reforma profunda del derecho urbanístico: ambición y viabilidad [En línea] // Institut du developpement durable et des relations internationales. - Abril de 2011. - 15 de enero de 2012. - <http://www.iddri.org/Publications/Publications-scientifiques-et-autres/CyTET-168.pdf>.

Maestu Josefina y Domingo Lorenzo El proceso de planificación. El programa de medidas y el análisis coste-eficacia. [Publicación periódica]. - [s.l.] : Ingeniería y Territorio, 2007. - 80.

Malgrat Bregolat Pere Control de la contaminación producida en tiempo de lluvia por las descargas de sistemas unitarios de alcantarillado [Publicación periódica] // Revista del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Nº 33.. - 1995.

Malgrat Pere, Russo Beniamino, Suñer David Depósitos de retención anticontaminación. Criterios de diseño y operación.

Matthei Verena, Le Mat Owen y Strosser Pierre Which role for economic instruments in the management of water resources in Europe? In search for innovative ideas for application in the Netherlands [Informe]. - 2009.

MMAMRM Plan Nacional de Reutilización de Aguas [Informe]. - [s.l.] : Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2010.

Moral, Leandro del Nuevas tendencias en gestión del agua, ordenación del territorio e integración de políticas sectoriales. Scripta Nova: Revista electrónica de geografía y ciencias sociales, ISSN 1138-9788, Nº. 13, 281-309, 2009

Morroni Walter y Salamon Alejandro Los aspectos sociales [Sección de libro] // Manual para el diseño de planes maestros para la mejora de la infraestructura y la gestión del drenaje urbano. - 2003.

Novotny Vladimir Nonpoint Pollution and Urban Stormwater Management [Libro]. - Lancaster, PA : TECHNOMIC Publ. Co., 1995.

Oficina Internacional del Agua Organización de la gestión del agua en Francia [Informe]. - XXX.

Perales Momparler Sara y Doménech Ignacio Andrés Los sistemas urbanos de drenaje sostenible: Una alternativa a la gestión del agua de lluvia. [Conferencia] // V Congreso Nacional de la Ingeniería Civil. “Desarrollo y Sostenibilidad en el marco de la ingeniería”. - Sevilla : [s.n.], 2007.

Pérez Pérez Emilio Artículos 407 a 427 del Código Civil y Ley de Aguas (2ª edición) [Sección de libro] // Comentarios al Código Civil / aut. libro Albaladejo Manuel y Díez Alabart Silvia. - [s.l.] : Revista de derecho privado, 1991. - Vols. Tomo V, Vol 3º.

Pristel Violetta Un marco de cumplimiento alternativo para el manejo de aguas pluviales urbanas en la región costera central de California [Conferencia] // Simposio Help 2011. - Panamá - República de Panamá : [s.n.], 2011.

Pristel Violetta Un marco de cumplimiento alternativo para el manejo de aguas pluviales urbanas en la región costera central de California [Conferencia] // Symposium Help 2011. - Panamá : [s.n.], 2011.

Puddephatt Jane y Heslop Viv What we can learn from overseas. Policy instruments to promote the uptake of low impact urban design and development [Informe]. - 2007.

Puertas Agudo Jerónimo, Suárez López Joaquín y Anta Álvarez Jose Gestión de las aguas pluviales [Libro]. - [s.l.] : Centro de publicaciones del CEDEX, 2008.

Redondo Fernández, Francisco Los sistemas de saneamiento supramunicipales y la ordenación del territorio. El caso de Asturias. Revista Ingeniería y Territorio. Nº 9. Año 2006.

Ruza Javier Implicaciones legales de la estrategia de control y autorización de vertidos de aguas pluviales del MARM [Conferencia] // Jornadas sobre Sistemas de Saneamiento. Actualidad y futuro.. - A Coruña : [s.n.], 2011.

Ruza Rodríguez Javier Situación normativa de las DSU y perspectivas de futuro [Conferencia] // VII Jornadas técnicas. Saneamiento, depuración y drenaje urbano. - 2011.

Saurí David y Cantó Sergi Integración de políticas sectoriales: Agua y urbanismo [Informe]. - [s.l.] : Fundación Nueva Cultura del Agua, xxx.

Seli Pena Dilma y Toledo Silva Ricardo Saneamiento y Pobreza [Conferencia] // IV encuentro de ex presidentes. - Sao Paulo : [s.n.], 2009.

Síntesis de la legislación de la UE [En línea]. - 15 de noviembre de 2011. - http://europa.eu/legislation_summaries/index_es.htm.

Sorarrain Manuel La evaluación económica y financiera [Sección de libro] // Manual para el diseño de planes maestros para la mejora de la infraestructura y la gestión del drenaje urbano. - 2003.

Schmitt T. G., Illgen M. and Kaufmann I. Klimawandel - Konsequenzen für die Siedlungsentwässerung? *KA - Abwasser, Abfall*. - 2006.

Suárez Joaquín [y otros] Legislación y normativa sobre gestión de la contaminación asociada a la aguas pluviales [Informe]. - xxx.

Suárez Joaquín y Jácome Alfredo Tema 7: Contaminación en los sistemas de saneamiento y drenaje // Apuntes de la asignatura Sistemas de Saneamiento. Máster en Ingeniería del Agua. - A Coruña : [s.n.], 2007.

The Civic Federation Managing Urban Stormwater with Green Infrastructure: Case Studies of Five U.S. Local Governments [Informe]. - 2007.

USEPA Evaluating nonpoint source control projects in an urban watershed. [Conferencia] // Nonpoint Source Watershed Workshop. - 1991.

USEPA Water Quality Trading Policy [Informe]. - [s.l.] : United States Environmental Protection Agency - Office of Water, 2003.

USEPA Water Quality Trading Toolkit for Permit Writers [Informe]. - [s.l.] : United States Environmental Protection Agency, 2007-2009.

Valls Benavides Gonzalo y Perales Momparler Sara Integración de las aguas pluviales en el paisaje urbano: un valor social a fomentar [Conferencia] // I Congreso Nacional de Urbanismo y Ordenación del Territorio. - Bilbao : [s.n.], 2008.

Wossink Ada y Hunt Bill An evaluation of Costs and Benefits of Structural Stormwater. Best Management Practices in North Carolina. [Informe]. - [s.l.] : North Carolina Cooperative Extension Service, 2011.

Wossink Ada y Hunt Bill The Economics of Structural Stormwater BMPs in North Carolina [Informe]. - [s.l.] : WRI Research Report Number 44, 2003.

- ANEJO 1 -

PRINCIPALES MODELOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS: ESTADO ACTUAL Y NUEVAS TECNOLOGÍAS.

1- INTRODUCCIÓN.

En la gestión de las aguas pluviales en entornos urbanos es importante conocer los modelos matemáticos disponibles, tanto de transformación lluvia-escorrentía (modelos hidrológicos) como de transporte y laminación de flujo (modelos hidráulicos), a los que cada vez se recurre con más frecuencia. No obstante, como ya se ha indicado, en general exigen una correcta calibración o ajuste de parámetros en base a medidas hidrológicas. Por lo tanto, para poder implementarlos, hay que instrumentalizar, dentro del sistema de drenaje, una red de medición de caudales y niveles de agua, en los puntos más significativos del sistema (entradas, salidas, derivaciones, estanques, depósitos de retención, aliviaderos, etc).

Al implementar estos modelos no hay que centrarse únicamente en las redes de drenaje, sino que hay que tener en cuenta que esas redes y el entorno urbano al que dan servicio forman parte de un ámbito territorial mayor, la cuenca hidrográfica a la que pertenecen. En este sentido, la interacción entre las redes o cualquier otro sistema de drenaje, con una capacidad para transportar caudal limitada, y los medios receptores, con una capacidad limitada para recibir caudales, condiciona la aparición de inundaciones urbanas. Por ello, hay que conocer las herramientas disponibles para modelizar estos dos medios.

En todo caso, hay que tener en cuenta que la variación del nivel o del caudal de un río o de una tubería depende de las características climatológicas y físicas de la cuenca hidrográfica. Las distribuciones temporal y espacial de la precipitación son las principales condiciones climatológicas y éstas sólo pueden ser previstas con una antelación de pocos días o unas horas, lo que no permite la previsión de los niveles de crecida con gran anticipación. El tiempo máximo posible de previsión de la avenida, a partir de la ocurrencia de la precipitación, es limitado por el tiempo medio de desplazamiento del agua en la cuenca hasta la sección de interés.

Teniendo esto presente, la previsión de los niveles puede ser realizada a corto o a largo plazo. Las primeras responden a la necesidad de tomar decisiones con carácter inmediato ante una determinada situación de crecida de un río o de desbordamiento de una alcantarilla y las segundas a la necesidad de conocer el comportamiento de una cuenca o de todo un sistema de drenaje ante determinadas precipitaciones, para diseñar infraestructuras o para tomar decisiones relativas a la ordenación del territorio. Pero en estos estudios también hay que tener en consideración el riesgo que entrañan estas

situaciones, analizando tanto la probabilidad de que se produzcan como la vulnerabilidad del lugar en donde se producen.

2- MODELIZACIÓN A LARGO PLAZO.

La previsión de crecidas a largo plazo cuantifica las probabilidades de ocurrencia de la inundación en términos estadísticos, sin diagnosticar cuándo ocurrirá la crecida. Este tipo de previsiones son importantes para diseñar infraestructuras o en el ámbito de la ordenación del territorio.

Los modelos que se utilizan se agrupan en dos grandes categorías: modelos hidrológicos de respuesta de cuenca y modelos hidráulicos de cálculo de la cota de lámina de agua en un cauce o tubería.

1- Modelos hidrológicos de respuesta de cuenca: Existen numerosas clasificaciones de los modelos hidrológicos, pero fundamentalmente éstos se pueden clasificar desde tres puntos de vista:

- a. En función de la representación espacial se pueden clasificar en tres grupos:
 - i. **Modelos agregados**: Son aquellos que consideran una distribución espacial uniforme de lluvia en la cuenca, utilizando como variable la precipitación media, y supone que los parámetros de los diferentes submodelos, que simulan los diferentes procesos hidrológicos, son globales para toda la cuenca y permanecen constantes a lo largo de un episodio.
 - ii. **Modelos semidistribuidos**: Son aquellos que permiten una cierta variabilidad espacial de la lluvia y de los parámetros de los submodelos que lo componen, mediante la división de la cuenca en multitud de pequeñas subcuencas con lluvia y parámetros constantes en cada uno de ellos.
 - iii. **Modelos distribuidos**: Son aquellos que permiten la variabilidad espacial de la lluvia y de los parámetros, mediante la división de la cuenca en celdas, en las que se simulan los diferentes procesos hidrológicos.
- b. En función del tipo de representación de los procesos hidrológicos que ocurren en la cuenca se pueden clasificar en tres grupos:
 - i. **Modelos métricos**: Son aquellos que tienen una gran dependencia respecto de los datos observados, realizando una búsqueda sobre los mismos para caracterizar la respuesta del sistema, mediante un método de extracción de la información a partir de los datos existentes. Estos modelos se construyen con una consideración pequeña o nula de los procesos físicos que ocurren en el sistema hidrológico. Los modelos métricos utilizan la representación más simple del comportamiento de una cuenca hidrológica, ya que la relación entre la lluvia y el caudal respuesta a partir de las condiciones iniciales de la cuenca puede ser simulada mediante una

variable de pérdida volumétrica, que engloba los procesos de pérdida por evaporación, almacenamiento de humedad en el suelo y recarga de aguas subterráneas, y una función distribución temporal, que simula los diferentes modos dinámicos de respuesta de la cuenca. El ejemplo más común de este tipo de modelos son los basados en el concepto de hidrograma unitario. La gran ventaja de estos modelos es que requieren una cantidad mínima de datos, pero tiene un rango de aplicación limitado por la variabilidad de los datos observados y no son capaces de tener en cuenta los cambios producidos en la cuenca, por ejemplo la expansión urbana, sin realizar modificaciones en el modelo.

- ii. **Modelos conceptuales:** Son aquellos que representan los procesos hidrológicos más importantes mediante una base de conocimiento inicial en forma de representación conceptual de los mismos. El inicio de estos modelos se produce con la mejora de la capacidad computacional, lo que permitió la representación integrada de la fase terrestre del ciclo hidrológico para generar secuencias continuas del flujo. De todas formas la representación hidrológica se realiza mediante relaciones simplificadas con parámetros que no se pueden medir físicamente en la realidad. Por tanto, para aplicar estos modelos a una cuenca determinada deben ser calibrados con los datos observados en la misma. Ejemplos de estos modelos son: ‘*Stanford Watershedmodel*’ (Crawford y Linsley, 1966), ‘*MODHYDROLOG*’ (Chiew y McMahon, 1994), ‘*DBSIM*’ (Garrote y Bras, 1995), ‘*IHACRES*’ (Evans y Jakeman, 1998), etc.
 - iii. **Modelos físicamente basados:** Estos modelos utilizan los conocimientos más recientes del comportamiento físico de los procesos hidrológicos, realizando la simulación del comportamiento hidrológico de una cuenca mediante la utilización de las ecuaciones de continuidad clásicas, resolviendo las ecuaciones diferenciales de forma numérica mediante la aplicación de métodos de diferencias finitas o elementos finitos. Estos modelos son necesariamente de tipo distribuido, y por tanto, permiten la descripción de los fenómenos en cada una de las celdas del sistema, tanto desde el punto de vista de los parámetros como de la resolución de los sistemas de ecuaciones diferenciales, por tanto el sistema físico se representa mediante un sistema de ecuaciones diferenciales que expresan la masa, el momento y el balance de energías.
- c. En función de la extensión temporal en la que se puede aplicar el modelo, se clasifican en dos grupos:

- i. **Modelos de episodio:** Son aquellos desarrollados para simulaciones de cortos intervalos de tiempo, normalmente de un único episodio de lluvia, como su nombre indica. Estos modelos se centran en la simulación de los procesos de infiltración y escorrentía superficial, ya que su principal objetivo es la evaluación de la escorrentía directa. Sin embargo, no tienen en cuenta el proceso de recuperación de humedad entre episodios de lluvia. Los modelos de episodio se aplican fundamentalmente para simular caudales de avenida, principalmente en aquellos casos en los que la escorrentía directa es la principal fuente de generación de la escorrentía total. Sin embargo, no se deben aplicar a la simulación de caudales durante las épocas de estiaje ni a la simulación de caudales diarios.
- ii. **Modelos continuos:** Son aquellos que permiten la simulación de caudales diarios, mensuales o estacionales, es decir, permiten la simulación durante intervalos de tiempo mayores a un episodio de lluvia. Estos modelos consideran todos los procesos que influyen en la generación de escorrentía, tanto la escorrentía directa mediante el flujo de superficie, como la escorrentía indirecta mediante el flujo subterráneo. Los modelos continuos se centran en la simulación de la evapotranspiración y de los procesos que influyen a largo plazo en la recuperación de la humedad durante los periodos en los que no hay ocurrencia de precipitación. Por tanto, el objetivo principal de los modelos continuos es la simulación del balance de humedad total de la cuenca durante periodos largos de tiempo. Los modelos continuos se aplican fundamentalmente para el pronóstico de volúmenes de escorrentía a largo plazo y estimación de las reservas de agua.

2- Los modelos hidráulicos de cálculo de la cota de lámina de agua: se dividen en:

- a. Modelos de régimen permanente: se utilizan para la delimitación de la zona inundada.
- b. Modelos de régimen variable: se utilizan para el análisis de la propagación de ondas de crecida.

Pueden citarse como ejemplos los modelos de la familia HEC (HMS y HEC-RAS, fundamentalmente) o del DanishHydraulicInstitute (Mike MOUSE, Mike 11, Mike SHE, Mike Nam, etc.).

3- MODELIZACIÓN A CORTO PLAZO O EN TIEMPO REAL.

La previsión de crecidas a corto plazo o en tiempo real permite establecer el nivel y su tiempo de ocurrencia para la sección de un río con una anticipación que depende del pronóstico de la precipitación y de los desplazamientos de la crecida en la cuenca. Este tipo de previsión es utilizado

para alertar a la población ribereña y operadores de obras hidráulicas y tomar decisiones de forma inmediata.

Las herramientas necesarias para realizar este tipo de previsiones dependen en gran medida de cómo sea la cuenca hidrográfica y, en este sentido, se puede hablar de cuencas de respuesta lenta y de respuesta rápida. En general, los ámbitos urbanos son de respuesta rápida, es decir, el tiempo que transcurre entre la ocurrencia de la lluvia y la presentación de la crecida es mínimo. En estos casos, el sistema de previsión y alarma deberá basarse en el conocimiento en tiempo real de las precipitaciones, de forma que permita el adelanto máximo en la predicción, y la ganancia del mayor tiempo posible a los efectos de generación de alarmas y de decisión respecto al empleo de medidas de protección.

Para llevar a cabo estas previsiones son muy útiles herramientas como el SAIH en ámbitos rurales y la telegestión de bombeos en ámbitos urbanos. En este sentido, es fundamental disponer en tiempo real de un centro desde donde se controle información de toda el ámbito, se analicen distintas alternativas y se adopten decisiones. Esto exige disponer de modelos que permitan incorporar progresivamente la información que se recibe. Por este motivo, la previsión en tiempo real exige el desarrollo de nuevos modelos diseñados con características singulares:

- Con una configuración abierta, es decir, conviene plantear un proceso de modelización guiado por la disponibilidad de información, y no por la disponibilidad de un software determinado que, posiblemente, necesita algunos datos que no se tienen e ignora otros datos que sí están a nuestra disposición. En este proceso es muy importante organizar la información en un sistema de información geográfica (SIG) que actúe como elemento de almacenamiento y control del conocimiento que se tiene de la cuenca sobre la que se tomarán decisiones. A partir de esta información debe hacerse un estudio de los requerimientos necesarios en los modelos de previsión que se utilicen en la toma de decisiones, con la finalidad de establecer qué debe pronosticarse, dónde, con qué precisión, con qué fiabilidad, qué destino se dará a la información, y otra serie de cuestiones correspondientes al procedimiento operativo del organismo encargado de la toma de decisiones en avenidas.
- Que puedan operar cíclicamente. En este sentido, debe estar formulado específicamente para ser ejecutado durante el episodio, y no al final, y su objetivo es proporcionar un pronóstico de caudales durante un número reducido de intervalos de cálculo, y no una simulación del conjunto del hidrograma. Por lo tanto, su funcionamiento debe ser cíclico: cada vez que se disponga de nueva información, debe volver a ejecutarse el modelo. Además, debe tener previsto el funcionamiento con datos incompletos o, como mínimo, heterogéneos. En efecto, durante el episodio se desconoce la lluvia futura, cuya estimación deberá incorporarse como

pronóstico, con características de fiabilidad e incertidumbre distintas de los datos de lluvia registrada ya medidos. Para lograr este objetivo, pueden resultar útiles los modelos de redes neuronales.

- Que permitan la actualización de los resultados en función de las observaciones que se vayan realizando.
- Deben caracterizar adecuadamente la incertidumbre de los pronósticos proporcionados por los modelos, y formular éstos en términos probabilísticos.
- Es necesario validar los modelos hidrológicos mediante técnicas rigurosas de calibración, en las que se cuantifique la incertidumbre sobre los parámetros y se valore la capacidad del modelo para representar la realidad.

Este tipo de modelos se están desarrollando en la actualidad y es previsible que en un futuro próximo permitan complementar adecuadamente a las herramientas existentes de toma de decisiones sobre las avenidas en tiempo real.

4- MODELIZACIÓN DESDE LA PERSPECTIVA DEL RIESGO.

Tal y como se ha indicado anteriormente, la gestión de las inundaciones ha evolucionado desde el estudio en exclusiva de la probabilidad de ocurrencia de una determinada inundación a la consideración conjunta con las consecuencias asociadas a dicha situación (vulnerabilidad). Por este motivo, el análisis del estado del arte en la previsión de avenidas y sus perspectivas de futuro se debe realizar considerando estas dos componentes del riesgo de ocurrencia de las crecidas.

En este sentido, las herramientas existentes en la actualidad se pueden dividir en completas o parciales, según caractericen las dos componentes del riesgo o solamente una de ellas; y en cuantitativas o cualitativas, según se obtenga o no un valor numérico para el riesgo.

- 1- **Herramientas parciales y cualitativas:** Estas herramientas solo calculan una de las dos componentes del riesgo y de una forma cualitativa. En general, se suele tratar de mapas en los que se hace una estimación de la probabilidad de la amenaza, basada en la ocurrencia de eventos históricos de inundación o en cálculos hidráulicos e hidrológicos simplificados. Cuando estas herramientas se centran en la estimación de la vulnerabilidad, suelen definir zonas donde puede haber una gran vulnerabilidad o donde las inundaciones pueden producir importantes pérdidas humanas.
- 2- **Herramientas completas y cualitativas:** Estas herramientas calculan ambas componentes del riesgo, aunque al menos una de ellas de forma cualitativa, por lo que se obtiene un resultado del riesgo cualitativo. Estas herramientas pueden ser muy útiles para el planeamiento y la gestión, ya que identifican áreas donde el riesgo de inundación debe ser

reducido, si bien su grado de detalle es menor que el de las herramientas cuantitativas. Este tipo de herramientas también pueden ser muy útiles para estimar el riesgo asociado a consecuencias que difícilmente pueden ser cuantificadas, como las consecuencias medioambientales y culturales o el trauma social. Dentro de este tipo de herramientas, la más común son los mapas de riesgo obtenidos por una combinación de la estimación cuantitativa de la probabilidad de ocurrencia de una inundación con una estimación cualitativa de las consecuencias. Estas consecuencias se encuentran normalmente divididas en niveles según la profundidad de la inundación estimada.

3- Parciales y cuantitativas: Este tipo de herramientas solo define una parte del riesgo, aunque de forma cuantitativa. Por lo tanto, se pueden dividir entre las herramientas que estiman la probabilidad de la amenaza y las que estiman la vulnerabilidad.

- a. Dentro de las herramientas que definen la amenaza, las más comunes son los mapas de inundación, que muestran el área inundada para diferentes eventos asociados a unas probabilidades anuales de ocurrencia. El proceso que debe seguirse para desarrollar estos mapas consiste en un análisis histórico de las inundaciones, un análisis geomorfológico, un estudio hidrológico, una modelización hidráulica y por último, una calibración y comparación de los resultados.
- b. Respecto a los métodos para analizar la vulnerabilidad, se basan en la cuantificación de las consecuencias de la inundación. Estas consecuencias suelen estar expresadas en pérdida de vidas o en consecuencias económicas. Respecto a la pérdida de vidas, la mayoría de las metodologías para su estimación están basadas en tasas de mortalidad fijas según el tipo de inundación y otros aspectos como el tiempo de aviso y la severidad de la inundación, ya que el estudio de los datos históricos de inundaciones revela que estas tasas suelen ser bastante constantes. Actualmente, otros métodos más sofisticados han sido desarrollados, simulando los diferentes procesos que tienen lugar durante una inundación, desarrollados en GIS.
- c. Respecto a la estimación de consecuencias económicas, la mayoría de las estimaciones están basadas en los trabajos originales de Kates. Estas metodologías usan la profundidad del agua como parámetro base y se utilizan curvas calado-daños para estimar las pérdidas económicas dependiendo del valor del suelo. Los métodos más recientes se pueden combinar con GIS y utilizan curvas calado-daños calibradas según el uso del suelo. En general, los costes indirectos se calculan como una fracción de los costes directos, aunque esta aproximación puede producir errores importantes.

- 4- **Completas y cuantitativas:** Este tipo de herramientas permite cuantificar el riesgo tras cuantificar cada una de sus componentes. Un ejemplo de este tipo de herramientas podrían ser mapas de riesgo, en los que se dividiera el área de estudio en pequeñas celdas y se cuantificara el riesgo en cada una de ellas, obteniendo la distribución de riesgo. Sin embargo, actualmente la mayoría de mapas de riesgo no llegan a cuantificar el riesgo, aunque sí sus componentes, ya que suelen ser una combinación de mapas de inundación con una lista de afecciones y las consecuencias en cada una de ellas. Otros tipos de herramientas cuantitativas y completas son las curvas F-N. Estas curvas representan la relación entre la probabilidad de ocurrencia de una amenaza y el número de víctimas que produce en una determinada área de estudio. De esta forma, el área debajo de la curva es el riesgo social total en el área estudiada. Estas curvas muestran la distribución de la probabilidad de ocurrencia de un número de víctimas de una forma clara y sencilla, aunque no permiten un análisis directo de la distribución espacial del riesgo de inundación, como los mapas de riesgo. Este tipo de curvas también pueden ser trazadas con consecuencias económicas, en lugar de pérdida de vidas.

- ANEJO 2-

ANÁLISIS DE LAS DIRECTIVAS EUROPEAS RELACIONADAS CON LA GESTIÓN DE LAS AGUAS PLUVIALES

Directivas relacionadas con las inundaciones:

- **Directiva 2007/60/CE, relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación.** Con el objetivo de evaluar y gestionar los riesgos derivados de las inundaciones, en el 2007 aparece la Directiva 2007/60/CE. Esta directiva ha sido incorporada a nuestro ordenamiento jurídico a través del Real Decreto 903/2010, de 9 de julio, de evaluación y gestión de riesgos de inundación.

El objetivo de la Directiva es reducir y gestionar los riesgos derivados de las inundaciones¹⁰ para la salud humana, el medio ambiente y los bienes. Para ello, prevé cartografiar los riesgos de inundación¹¹ en todas las regiones donde este riesgo es elevado, acometer actuaciones coordinadas en las cuencas hidrográficas compartidas por varios países y elaborar planes de gestión de los riesgos de inundación que sean el resultado de una cooperación y una participación lo más amplias posible de los Estados miembros.

La Directiva requiere que los Estados miembros realicen una planificación a largo plazo para reducir el riesgo de inundación. Esta planificación se realizará en tres etapas que deberán producir unos documentos públicos:

- 1- La primera etapa tiene como horizonte temporal el año 2011 (revisión en 2018). Antes del 22 de diciembre de 2011, los estados miembros deberán acometer la **evaluación preliminar de los riesgos de inundación (EPRI)** en sus demarcaciones hidrográficas y zonas costeras asociadas. En esta evaluación, los Estados deberán determinar las zonas para las cuales hayan llegado a la conclusión de que existe un riesgo potencial de inundación significativo (**áreas**

¹⁰**Inundación** (art. Directiva): Anegamiento temporal de terrenos que no están normalmente cubiertos por agua. Incluye las inundaciones ocasionadas por ríos, torrentes de montaña, corrientes de agua intermitentes del Mediterráneo y las inundaciones causadas por el mar en las zonas costeras, y puede excluir las inundaciones de las redes de alcantarillado.

Inundación (art. R.D. 903/2010): Anegamiento temporal de terrenos que no están normalmente cubiertos de agua ocasionadas por desbordamiento de ríos, torrentes de montaña y demás corrientes de agua continuas o intermitentes, así como las inundaciones causadas por el mar en las zonas costeras y las producidas por la acción conjunta de ríos y mar en las zonas de transición.

¹¹**Riesgo de inundación:** combinación de la probabilidad de que se produzca una inundación y de las posibles consecuencias negativas para la salud humana, el medio ambiente y la actividad económica asociadas a una inundación.

con riesgo potencial significativo de inundación, ARPSIs) o en las cuales la materialización de este riesgo puede considerarse probable.

- a. La elaboración corresponde a los organismos de cuenca en las cuencas intercomunitarias o a la Administraciones competentes en las cuencas intracomunitarias.
 - b. El resultado de la evaluación preliminar se someterá a consulta pública durante un plazo mínimo de tres meses. La evaluación preliminar del riesgo de inundación, una vez analizadas las alegaciones, se someterá a informe del Comité de Autoridades Competentes u organismo equivalente en las cuencas intracomunitarias.
 - c. En las cuencas intercomunitarias, el Organismo de cuenca remitirá la evaluación preliminar del riesgo de inundación para su aprobación al Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino, el cuál, previamente a esta aprobación, la remitirá a la Comisión Nacional de Protección Civil para su informe. En las cuencas intracomunitarias, el organismo que haya aprobado la evaluación preliminar del riesgo de inundación, integrando la evaluación elaborada por las Administraciones competentes en materia de costas, la remitirá al Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino para su remisión a la Comisión Europea. En las Demarcaciones Hidrográficas internacionales para la evaluación preliminar del riesgo de inundación se intercambiará la información pertinente con los países afectados.
- 2- En estas zonas de significativo riesgo potencial de inundación, los Estados deberán elaborar, antes del 22 de diciembre de 2013 (revisión en 2019), **mapas de peligrosidad de inundaciones y mapas de riesgo de inundaciones**, que centran la segunda etapa de planificación de la Directiva.
- a. Los mapas de peligrosidad incluirán las zonas geográficas que podrían inundarse y las clasificarán según los escenarios siguientes:
 - i. Baja probabilidad de inundación o escenario de eventos extremos (periodo de retorno 500 años).
 - ii. Probabilidad media de inundación (período de retorno mayor o igual a 100 años).
 - iii. Alta probabilidad de inundación.
 - b. Además, estos mapas de peligrosidad indicarán:
 - i. la extensión de la inundación y los calados del agua o nivel de agua, según proceda;

- ii. cuando proceda, la velocidad de la corriente o el caudal de agua correspondiente.
 - iii. En las inundaciones causadas por las aguas costeras y de transición se reflejará el régimen de oleaje y de mareas, así como las zonas sometidas a procesos erosivos y las tendencias en la subida del nivel medio del mar como consecuencia del cambio climático.
 - iv. Adicionalmente, en los mapas de peligrosidad se representará la delimitación de los cauces públicos y de las zonas de servidumbre y policía, la zona de flujo preferente en su caso, la delimitación de la zona de dominio público marítimo-terrestre, la ribera del mar en caso de que difiera de aquella y su zona de servidumbre de protección.
- c. Los mapas de riesgo de inundación mostrarán también las consecuencias adversas potenciales asociadas a la inundación correspondiente a los escenarios indicados, expresando los parámetros siguientes:
- i. Número indicativo de habitantes que pueden verse afectados.
 - ii. Tipo de actividad económica de la zona que puede verse afectada.
 - iii. Instalaciones a que se refiere el anexo I de la Directiva 96/61/CE, relativa a la prevención y al control integrados de la contaminación que puedan ocasionar contaminación accidental en caso de inundación.
 - iv. Zonas protegidas para la captación de aguas destinadas al consumo humano, masas de agua de uso recreativo y zonas para la protección de hábitats o especies que pueden resultar afectadas.
 - v. Cualquier otra información que se considere útil, como la indicación de zonas en las que puedan producirse inundaciones con alto contenido de sedimentos transportados y flujos de derrubios e información sobre otras fuentes importantes de contaminación, pudiendo también analizarse la infraestructura viaria o de otro tipo que pueda verse afectada por la inundación.
- d. Los mapas de peligrosidad y de riesgo de inundación serán hechos por los organismos de cuenca en las cuencas intercomunitarias y las Administraciones competentes en las cuencas intracomunitarias, en colaboración con las autoridades de Protección Civil. En ellos se integrarán los que elaboren las Administraciones competentes en materia de costas, para las inundaciones causadas por las aguas costeras y de transición.

- e. Los mapas de peligrosidad y de riesgo de inundación se someterán a consulta pública durante un plazo mínimo de tres meses. Una vez analizadas las alegaciones, se someterán a informe del Comité de Autoridades Competentes u organismo equivalente en las cuencas intracomunitarias y posteriormente se remitirán al Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino.
 - f. La información recogida en las cartografías de peligrosidad y de riesgo de inundación se integrará en el Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables¹² y, con el fin de que tenga la condición de cartografía oficial, se inscribirá en el Registro Central de Cartografía.
 - g. Los mapas de peligrosidad y de riesgo de inundación constituirán la información fundamental en que se basarán los Planes de gestión del riesgo de inundación.
 - h. En las Demarcaciones Hidrográficas correspondientes a las cuencas hidrográficas compartidas con otros países se intercambiará la información pertinente con los países afectados.
- 3- La última etapa de planificación llega hasta el 22 de diciembre de 2015 (revisión en 2021). Antes de esa fecha, los Estados deberán redactar los **planes de gestión del riesgo de inundaciones** para esas zonas que ha identificado y catalogado, **aprobarlos y publicarlos**. Estos planes centrarán su atención en la reducción de las consecuencias adversas potenciales de la inundación para la salud humana, el medio ambiente, el patrimonio cultural y la actividad económica y, si lo consideran oportuno, en iniciativas no estructurales o en la reducción de la probabilidad de las inundaciones.
- a. La elaboración y revisión de los programas de medidas se realizará por la administración competente en cada caso, que deberá aprobarlos, en el ámbito de sus competencias, con carácter previo a la aprobación del plan por el Gobierno de la Nación.
 - b. Los organismos de cuenca y las Administraciones competentes en las cuencas intracomunitarias, con la cooperación del Comité de Autoridades Competentes u órgano equivalente en las cuencas intracomunitarias, coordinadamente con las autoridades de Protección Civil, integrarán en los Planes los programas de medidas elaborados por la administración competente en cada caso, garantizando la adecuada

¹²**Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables** (R.D. 903/2010): Sistema informático que almacena el conjunto de estudios de inundabilidad realizados por el Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino y sus organismos de cuenca, junto a aquellos que aporten las comunidades autónomas y las administraciones locales.

coordinación y compatibilidad entre los mismos para alcanzar los objetivos del plan y le dotarán del contenido establecido en el anexo de este Real Decreto.

- c. Las Administraciones competentes someterán a información pública durante un plazo mínimo de tres meses el contenido del Plan y sus programas de medidas.
- d. Los organismos de cuenca, o las Administraciones competentes en las cuencas intracomunitarias elevarán el Plan al Gobierno de la Nación, a propuesta de los Ministerios de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino e Interior, para su aprobación mediante Real Decreto, de acuerdo con el reparto de competencias legalmente establecido.
- e. Previamente a la aprobación por parte del Gobierno, el Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino remitirá el plan al Consejo Nacional del Agua y a la Comisión Nacional de Protección Civil para su informe.
- f. Los planes de gestión del riesgo de inundación serán objeto del procedimiento de evaluación ambiental estratégica conforme a lo establecido en la Ley 9/2006.

Los planes abarcarán todos los aspectos de la gestión del riesgo de inundación, centrándose en la prevención, protección y preparación, incluidos la previsión de inundaciones y los sistemas de alerta temprana, y teniendo en cuenta las características de la cuenca o subcuenca hidrográfica considerada. A nivel concreto, estos planes tendrán en cuenta numerosos aspectos como los costes y beneficios, la extensión de la inundación y las vías de evacuación de inundaciones, así como las zonas con potencial de retención de las inundaciones, como las llanuras aluviales naturales. También se deberán reflejar los objetivos medioambientales indicados en el artículo 4 de la DMA, la gestión del suelo y del agua, la ordenación del territorio, el uso del suelo, la conservación de la naturaleza y la navegación e infraestructuras de puertos. Los planes de gestión del riesgo de inundación podrán asimismo incluir la promoción de prácticas de uso sostenible del suelo, la mejora de la retención de aguas y la inundación controlada de determinadas zonas en caso de inundación.

En el caso de demarcaciones hidrográficas internacionales, los Estados miembros deberán coordinarse, de modo que los problemas no sean traspasados de un área a otra.

El Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino, siguiendo los principios de la Directiva 2007/60 sobre evaluación y gestión de riesgos de inundación, ha puesto en marcha el **Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI)**, un instrumento de apoyo a la gestión del espacio fluvial, la prevención de riesgos, la planificación territorial y la transparencia administrativa.

El eje central del SNCZI es el **visor cartográfico de zonas inundables**, una aplicación informática que permite visualizar, sobre mapas catastrales y fotografías aéreas, entre otras opciones, los

estudios de delimitación del Dominio Público Hidráulico (DPH) y los mapas de peligrosidad de inundaciones de todo el territorio nacional.

El visor sirve de ayuda a los organismos de cuenca en la emisión de informes sobre autorizaciones en el DPH, en la gestión de avenidas en conexión con el S.A.I.H. (Sistema Automático de Información Hidrológica) y en la planificación de las actuaciones de defensa frente a inundaciones; agiliza la planificación y gestión de inundaciones por los servicios de Protección Civil; facilita la transmisión de información sobre zonas inundables a las administraciones competentes en planificación territorial y empresas promotoras; y permite a los ciudadanos conocer la peligrosidad de una zona determinada.

Actualmente están en ejecución distintos contratos de Servicios para la delimitación de zonas inundables en más de 7.000 Km. de ríos y la realización de los primeros pasos de implantación de la Directiva Europea de Evaluación y Gestión de Riesgo de Inundación en las cuencas hidrográficas del **Cantábrico, Miño-Sil, Duero, Júcar y Segura**, estando en distintos procesos de licitación en el resto de Confederaciones Hidrográficas.

Esta delimitación abarca los siguientes aspectos:

- **Dominio público hidráulico:** Se delimitará dentro del dominio público hidráulico probable aquellas áreas que se encuentren cubiertas por las aguas en las máximas crecidas ordinarias, lo que será puesto de manifiesto a partir de las evidencias geomorfológicas de la dinámica fluvial.

En general, la delimitación de este elemento se realizará siguiendo criterios geomorfológicos, apoyándose en la información de inundaciones ocurridas en el pasado y estudiando fotografías aéreas históricas y actuales. Se valorará la posibilidad de incluir las zonas relacionadas con las previsibles migraciones del cauce en un futuro cercano, hecho que dependerá de las circunstancias de la zona (migración de meandros y avulsiones recientes, orillas erosivas móviles, etc).

Complementariamente, se desarrollará un modelo hidráulico, en condiciones naturales, sin tener en cuenta el efecto de las infraestructuras de laminación de caudales ubicadas aguas arriba, ni el de las modificaciones antrópicas de cualquier tipo del cauce, asociadas o no con la defensa frente a inundaciones y que será coherente y siempre calibrado con la información histórica y geomorfológica disponible en el tramo de río analizado y con los tramos aguas arriba y abajo. Se cuantificará el caudal de desbordamiento, que será comparado con los estudios existentes sobre la máxima crecida ordinaria.

Del mismo modo, se incluirá una comparación de la cartografía generada con la base de datos del catastro, al objeto de identificar posibles discrepancias.

- **Zona de flujo preferente:** Esta zona se delimitará con el objeto de preservar la estructura y funcionamiento del sistema fluvial, dotando al cauce del espacio adicional suficiente para permitir su movilidad natural así como la laminación de caudales y carga sólida transportada, favoreciendo la amortiguación de las avenidas.

De acuerdo a su definición, se trata de una zona en la que, con periodos de recurrencia frecuentes, la avenida genera formas erosivas y sedimentarias debido a su gran energía. La zona de flujo preferente incluirá la vía de intenso desagüe, así como las zonas de elevada peligrosidad para la avenida de 100 años de periodo de retorno. Esta zona se delimitará mediante el desarrollo de un modelo hidráulico que será coherente con la información histórica y geomorfológica del tramo de río analizado y de los situados aguas arriba y abajo.

- **Zonificación del área inundable:** El área inundable englobará las zonas cubiertas por las aguas de avenidas excepcionales (con una recurrencia de 500 años aproximadamente). Este área se zonificará según el periodo de recurrencia de las inundaciones sea: muy frecuente (la que corresponde al dominio público hidráulico probable), frecuente (la que corresponde a la avenida de 100 años) y excepcional (la que corresponda a la avenida de 500 años), cumpliendo así las indicaciones de la Directiva de Inundaciones y facilitando la integración con la cartografía desarrollada por las Comunidades Autónomas y Protección Civil.

Se integrarán estas líneas cuando una Comunidad Autónoma las tenga ya elaboradas y presenten un grado de precisión suficiente.

La zonificación será realizada en base a la información de las inundaciones ocurridas en el pasado y a las evidencias geomorfológicas. Complementariamente se desarrollarán modelos hidráulicos, que serán coherentes con la información histórica y geomorfológica disponible en el tramo de río analizado, así como con los tramos ubicados aguas abajo y arriba. Estos modelos permitirán estimar la velocidad y calado en estas zonas. La zonificación de la peligrosidad deberá de incorporar, de forma consistente, la información aportada por ambos métodos.

Se identificarán aquellas estructuras antrópicas del tramo de estudio (encauzamientos, carreteras, rellenos, escombreras, etc) que puedan generar modificaciones de la zona inundable. Se identificarán las zonas inundables que actualmente se encuentren desligadas de la dinámica fluvial como consecuencia de dichas estructuras y aquellas otras no inundables en régimen natural, pero que sí lo son como consecuencia de la estructura.

En la medida de lo posible, se deberá de tener en cuenta la carga sólida, utilizando mapas geomorfológicos y modelos de pérdidas de suelo para eventos singulares.

- **Zonas susceptibles de sufrir avenidas rápidas de alta densidad y flujos de derrubios:** Se identificarán y cartografiarán estas zonas en base a criterios geomorfológicos, zonificando su peligrosidad en la medida de lo posible.
- **Zonas de policía y servidumbre:** Estas zonas se delimitarán de acuerdo con los estudios y a la legalidad vigente.

Directivas que controlan la calidad del propio medio acuático:

- **Directiva 2000/60/CE, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas:** Se establece un marco para la protección de las aguas interiores superficiales, de las aguas subterráneas, de las aguas de transición y de las aguas costeras. Esta Directiva tiene varios objetivos, concretamente la prevención y la reducción de la contaminación, la promoción del uso sostenible del agua, la protección del medio ambiente, la mejora de la situación de los ecosistemas acuáticos y la atenuación de los efectos de las inundaciones y de las sequías. Su objetivo último es alcanzar un «buen estado» ecológico y químico de todas las aguas en el 2015.

En el contexto de la gestión de las aguas pluviales, es importante señalar que, para alcanzar ese *objetivo último* en el año 2015, se establece la necesidad de desarrollar un Programa de medidas que formará parte del Plan de gestión de la demarcación hidrográfica. En estos Programas habrá que tratar aspectos específicos de los sistemas de drenaje urbano, tales como medidas para controlar la presencia de sustancias prioritarias en los sistemas de drenaje urbano o para reducir las descargas de los sistemas unitarios, aspectos que pueden resultar críticos para conseguir el buen estado ecológico de las masas de aguas receptoras de aguas de drenaje pluviales (Suárez, y otros, xxx). Además, también se indica que es necesario establecer una nueva política de precios que incentive el uso eficiente de los recursos hídricos.

En todo caso, la DMA también es consciente de que existen condiciones y necesidades que requieren soluciones específicas. Así, los programas de medidas deben ajustarse a las condiciones regionales y locales (ámbito de demarcación hidrográfica, ámbito autonómico e incluso ámbito local). Queda claro que la problemática de los vertidos en tiempo de lluvia desde sistemas de saneamiento deben ser objeto de “programas de medidas específicas locales”, que podrían relacionarse, en principio, con el régimen de lluvias, el tipo de sistema acuático y su clasificación y los objetivos de calidad fijados. En relación con la gestión de las aguas pluviales, también hay que destacar el artículo 4 DMA, donde se establecen los objetivos medioambientales y se definen los “**objetivos medioambientales menos rigurosos**”. Este tipo de objetivos podrían establecerse en masas de agua determinadas cuando estén tan afectadas por la actividad humana, o su condición natural sea tal que alcanzar dichos objetivos sea inviable o tenga un coste desproporcionado, y se cumplan en su totalidad una serie de

condiciones. Así, aparece el concepto de “objetivos medioambientales menos rigurosos” junto con la idea de “**objetivo inviable**” o “**coste desproporcionado**”, idea acorde con la sostenida por muchos autores en relación con la posibilidad de conseguir “vertido cero” en tiempo de lluvia en sistemas de saneamiento unitario.

- **Directiva 2006/118/CE, relativa a la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro:** El objetivo es prevenir y luchar contra la contaminación de las aguas subterráneas, que se pueden ver afectadas por la infiltración de aguas pluviales de poca calidad. Así, se establecen medidas para la prevención y limitación de los vertidos indirectos de contaminantes en las aguas subterráneas (como resultado de su filtración a través del suelo o del subsuelo).

Directivas que controlan la calidad del agua a través de los vertidos realizados al medio:

- **Directiva 91/271/CEE, relativa al tratamiento de las aguas residuales urbanas:** Se refiere a la recogida, tratamiento y vertido de las aguas residuales urbanas, así como al tratamiento y vertido de las aguas residuales de algunos sectores industriales. La finalidad de la Directiva es proteger el medio ambiente contra todo deterioro debido al vertido de esas aguas. Las aguas residuales industriales que se vierten a los sistemas colectores y de evacuación de aguas residuales y lodos procedentes de las depuradoras de aguas residuales urbanas están sujetas a normativas y autorizaciones específicas por parte de las autoridades competentes. La Directiva establece un calendario que los Estados miembros deben respetar para equipar las aglomeraciones urbanas, que cumplen los criterios establecidos en la Directiva, de sistemas colectores y de tratamiento de las aguas residuales. En relación con las aguas pluviales, la directiva es poco explícita. Cabe señalar el apartado A del Anejo 1, donde se indica que *El diseño, construcción y mantenimiento de los sistemas colectores deberá realizarse de acuerdo con los mejores conocimientos técnicos que no redunden en costes excesivos, en especial por lo que respecta:*

- *El volumen y características de las aguas residuales urbanas*
- *La prevención de escapes*
- ***La restricción de la contaminación de las aguas receptoras por el desbordamiento de aguas de tormenta.***

Además, en el apartado D de dicho anejo, en su punto 5 se indica que no se tendrán en cuenta los valores extremos de la calidad del agua que se trate cuando éstas sean consecuencia de situaciones inusuales, como las ocasionadas por lluvias intensas. Y en el cuadro 3 del mismo anejo, establece que *Dado que en la práctica no es posible construir los sistemas colectores y las instalaciones de tratamiento de manera que se puedan someter a tratamiento la totalidad de las aguas residuales en circunstancias tales como lluvias torrenciales inusuales, los Estados miembros decidirán medidas*

para limitar la contaminación por desbordamiento de aguas de tormenta. Tales medidas podrían basarse en coeficientes de dilución, capacidad en relación con el caudal en época seca o podrán especificar un determinado número aceptable de desbordamientos al año. Por lo que deja a los estados miembros la libertad de limitar la contaminación de las aguas residuales urbanas en tiempo de lluvia. Esta Directiva se ha traspuesto a nuestro ordenamiento jurídico a través del RDL 11/1995 y el RD 509/1996. En general, la trasposición ha sido bastante fiel a la Directiva, con algunos matices que analizaremos al comentar el futuro de la legislación española. En todo caso, cabe señalar que el RD 509/1996, en su artículo 2, es más explícito que la Directiva e indica que: *El proyecto, construcción y mantenimiento de los sistemas colectores deberá realizarse teniendo presente el volumen y características de las aguas residuales urbanas y utilizando técnicas adecuadas que garanticen la estanqueidad de los sistemas e impidan la contaminación de las aguas receptoras por el desbordamiento de las aguas procedentes de la lluvia.*

- **Directiva 91/676/CEE, relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura:** La «Directiva sobre nitratos» tiene por objeto proteger la calidad del agua en Europa evitando que los nitratos de origen agrario contaminen las aguas subterráneas y superficiales, y promoviendo la aplicación de buenas prácticas agrarias. La aplicación de esta Directiva es fundamental para disminuir la contaminación arrastrada por la escorrentía superficial y, con ello, ayudar a una mejor gestión de las aguas pluviales.

- **Directiva 2010/75/UE, sobre las emisiones industriales (prevención y control integrados de la contaminación):** Esta Directiva aglutina la Directiva 2008/1/CE (denominada «Directiva IPPC») y otras seis directivas en una sola directiva sobre las emisiones industriales. La Directiva IPPC somete a autorización las actividades industriales y agrícolas que presentan un elevado potencial de contaminación. Este permiso sólo puede concederse si se reúne una serie de condiciones medioambientales, de manera que las empresas asuman ellas mismas las labores de prevención y reducción de la contaminación que puedan llegar a causar. En relación con la gestión de las aguas pluviales, los principales efectos de esta Directiva son (Suárez, y otros, xxx):

- Detección y gestión de los posibles “lavados” por agua de lluvia de sustancias presentes en instalaciones industriales. Recogida de dichas aguas y tratamiento previo al vertido.
- Los planes de prevención de accidentes y de vertidos contaminantes en tiempo de lluvia también deberían ser verificados en los procesos de autorización, sin perjuicio de las competencias que concurren en la aprobación de los planes de emergencia de la industria.

- **Directiva 2006/11/CE, relativa a la contaminación causada por determinadas sustancias peligrosas vertidas en el medio acuático de la Comunidad (versión codificada):** Establece normas de protección y de prevención de la contaminación provocada por el vertido de determinadas

sustancias en el medio acuático; se aplica a las aguas interiores superficiales, a las aguas de mar territoriales y a las aguas interiores del litoral. La presencia de sustancias prioritarias y peligrosas prioritarias en las aguas residuales de un sistema de saneamiento implica, casi de forma directa, que las mismas van a estar presentes en los vertidos en tiempo de lluvia a través de aliviaderos. Así mismo, en determinadas cuencas urbanas, con mucha presión antrópica, en las aguas de escorrentía aparecen gran cantidad de las mismas, que si no se controlan y tratan van de forma directa a los sistemas acuáticos (Suárez, y otros, xxx). Para luchar contra la contaminación, en esta directiva se establecen dos listas de sustancias peligrosas:

- Deben eliminarse los vertidos de sustancias que figuran en la lista I. Cualquier vertido de una sustancia incluida en la lista I requiere una autorización previa expedida por la autoridad competente del Estado miembro afectado. La autorización se concede por un tiempo determinado y establece normas de emisión que pueden ser más severas que los límites establecidos por la normativa comunitaria, en especial para tener en cuenta la toxicidad o la persistencia de la sustancia en el medio de que se trate. Los Estados miembros garantizan el cumplimiento de las normas de emisión.
- Deben reducirse los vertidos de sustancias de la lista II. Para las sustancias de la lista II, los Estados miembros adoptan y aplican los programas destinados a preservar y mejorar la calidad del agua. Cualquier vertido requiere una autorización previa expedida por la autoridad competente del Estado miembro afectado, en la que se fijen las normas de emisión.

El objetivo básico de esta directiva es establecer que el control de la contaminación por determinadas sustancias (peligrosas) debe hacerse en origen, antes del vertido a sistemas de saneamiento públicos. Para ello la propia instalación industrial debe diseñar y gestionar sus procesos de producción de manera que no se produzca la superación de los límites fijados, o bien dotarse de sistemas de depuración propios y específicos para la reducción de dichas sustancias en el vertido. A los efectos del sistema de drenaje urbano, la directiva implica la necesidad de un eficiente y estricto control de vertidos, ya que el sistema público de saneamiento no cuenta, por definición, con instalaciones de depuración que permitan la eliminación de dichas sustancias una vez que han sido vertidas al sistema (Suárez, y otros, xxx).

- **Directiva 80/68/CEE, relativa a la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación causada por determinadas sustancias peligrosas:** Los objetivos de esta directiva y su relación con la gestión de las aguas pluviales son muy similares a los de la Directiva anterior. Así, su objetivo es impedir el vertido de determinadas sustancias tóxicas, persistentes y bioacumulables en las aguas subterráneas. Las sustancias peligrosas con respecto a la protección de las aguas subterráneas se han incluido en dos listas:

- El vertido directo de las sustancias de la lista I está prohibido. Esta lista comprende sustancias como los compuestos organohalogenados, organofosforados y organoestánicos, el mercurio, el cadmio y los compuestos de ambos, los hidrocarburos y los cianuros.
- El vertido de las sustancias incluidas en la lista II debe limitarse. Esta lista comprende sustancias como determinados metales (entre otros, el cobre, el zinc, el plomo y el arsénico), y otras sustancias como los fluoruros, los compuestos organosilíceos tóxicos o persistentes, los biocidas y sus derivados que no figuran en la lista I.

Todo vertido indirecto de sustancias de la lista I y todo vertido directo o indirecto de sustancias de la lista II estarán sujetos a un régimen de autorización previa.

- **Directiva 2008/105/CE, relativa a las normas de calidad ambiental en el ámbito de la política de aguas, por la que se modifican y derogan ulteriormente las Directivas 82/176/CEE, 83/513/CEE, 84/156/CEE, 84/491/CEE, 86/280/CEE, y por la que se modifica la Directiva 2000/60/CE:** Esta Directiva establece **normas de calidad ambiental (NCA)** relativas a la presencia, en las aguas superficiales, de sustancias o grupos de sustancias identificadas como prioritarias en razón del riesgo significativo que presentan para el medio acuático, o a través de él, y de otros contaminantes determinados. Es decir, estas normas de calidad ambiental establecen límites de concentración, de tal modo que la cantidad de las sustancias en cuestión en el agua no debe superar determinados umbrales (Suárez, y otros, xxx). El objetivo de estas normas de calidad armonizadas es luchar contra la contaminación de las aguas superficiales mediante 33 sustancias químicas prioritarias (Anexo II). La Directiva completa el marco legislativo elaborado por la DMA y permite la toma de decisiones a todos los niveles de gobernanza (Sín11).

Directivas que controlan la calidad del agua en función del uso que se hace del recurso:

- **Directiva 98/83/CE, relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano:** Tiene por objeto proteger la salud de las personas estableciendo los requisitos de salubridad y de limpieza que debe cumplir el agua potable en la Comunidad. Se aplicará a todas las aguas destinadas al consumo humano, excepto las aguas minerales naturales y las aguas medicinales. En relación con la gestión de las aguas pluviales, los requisitos establecidos en esta Directiva pueden obligar a reducir los límites de emisión en los vertidos aguas arriba, y esto es especialmente importante en tiempo de lluvia, si existen descargas de sistemas unitarios e, incluso, de sistemas separativos.

- **Directiva 2006/7/CE, relativa a la gestión de la calidad de las aguas de baño y por la que se deroga la Directiva 76/160/CEE:** Permite mejorar las normas que garantizan la calidad de las aguas de baño, complementando a la DMA. La evaluación de la calidad de las aguas se realiza en función de los datos microbiológicos y a partir de ella se establece una clasificación de las aguas de baño en

aguas de calidad insuficiente, suficiente, buena o excelente. Todas las aguas de baño de la UE deben ser, al menos, de calidad suficiente antes de la temporada de baño de 2015. Además, los Estados miembros deben adoptar las medidas necesarias para aumentar la cantidad de aguas de baño de calidad buena o excelente. La aplicación de esta Directiva exige, en ámbitos urbanos, tener un control estricto de los vertidos procedentes de las estaciones depuradoras, de las descargas de sistemas unitarios o, incluso, de los vertidos de aguas pluviales en redes separativas. En este contexto son fundamentales los sistemas de predicción, información y alerta, que deben contar con información cuantitativa y cualitativa en tiempo real sobre el funcionamiento del alcantarillado y las depuradoras, especialmente en lo que se refiere a las posibles fuentes de contaminación.

- **Directiva 2006/44/CE, relativa a la calidad de las aguas continentales que requieren protección o mejora para ser aptas para la vida de los peces:** La calidad de las aguas continentales es esencial para la vida acuática. Para garantizar un desarrollo equilibrado de las poblaciones de peces en las corrientes de agua y los lagos, la Unión Europea (UE) establece criterios de calidad aplicables a las aguas designadas como aguas piscícolas (aguas salmonícolas: aguas en las que viven o podrían vivir especies tales como el salmón, la trucha, el timalo o el corégono; y aguas ciprinícolas: aguas en las que viven o podrían vivir especies como ciprínidos, el lucio, la perca y la anguila). El cumplimiento de tales criterios permite reducir o eliminar la contaminación así como mantener diversas especies de aguas continentales en niveles equilibrados. Como ocurre con las demás directivas de calidad según el uso, su aplicación se puede ver muy condicionada por una mala gestión de las aguas pluviales vertidas a las aguas piscícolas.

- **Directiva 2006/113/CE, relativa a la calidad exigida a las aguas para cría de moluscos:** Esta Directiva se refiere a la calidad de las aguas para la conculicultura, es decir, las aguas propicias para la cría de moluscos (moluscos bivalvos y gasterópodos). Se aplica a las aguas costeras y a las aguas salobres, declaradas por los Estados miembros, que requieran una protección o mejora para permitir el crecimiento de los moluscos y contribuir así a la buena calidad de los productos destinados a la alimentación humana. Al igual que en los casos anteriores, también es importante una adecuada gestión de las aguas pluviales vertidas a las aguas aptas para la cría de moluscos para que esta actividad se pueda desarrollar en condiciones óptimas.

- ANEJO 3 -

DIRECTRIZ BÁSICA DE PLANIFICACIÓN DE PROTECCIÓN CIVIL ANTE EL RIESGO DE INUNDACIONES.

1 INTRODUCCIÓN.

La Ley 2/1985, de 21 de enero, sobre Protección Civil, en su exposición de motivos, establece la protección civil como protección física de las personas y los bienes en situación de grave riesgo colectivo, calamidad pública o catástrofe extraordinaria. En su artículo 8 se establece que el Gobierno aprobará, a propuesta del Ministerio del Interior, una Norma Básica de Protección Civil que contendrá las directrices especiales para la elaboración, entre otros, de los Planes Especiales por sectores de actividad, tipos de emergencia o actividades concretas. Por Real Decreto 407/1992, de 24 de abril, se aprobó la Norma Básica de Protección Civil en la que se dispone que serán objeto de Planes Especiales, entre otras, las emergencias por inundaciones y que estos Planes serán elaborados de acuerdo con la correspondiente Directriz Básica, la cual habrá de ser aprobada por el Gobierno y deberá establecer los requisitos mínimos sobre fundamentos, estructuras, organización, criterios operativos, medidas de intervención e instrumentos de coordinación que deben cumplir dichos Planes. Como consecuencia de las estipulaciones anteriores, el 9 de diciembre de 1994, el Consejo de Ministros aprobó la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones.

El objeto de la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones, es establecer los requisitos mínimos que deben cumplir los correspondientes Planes Especiales de Protección Civil, en cuanto a fundamentos, estructura, organización y criterios operativos y de respuesta, para ser homologados e implantados en su correspondiente ámbito territorial, con la finalidad de prever un diseño o modelo nacional mínimo que haga posible, en su caso, una coordinación y actuación de los distintos servicios y Administraciones implicadas.

A los efectos de la esta Directriz se considerarán todas aquellas inundaciones que representen un riesgo para la población y los bienes, produzcan daños en infraestructuras básicas o interrumpan servicios esenciales para la comunidad, y que puedan ser encuadradas en alguno de los tipos siguientes:

a) Inundaciones por precipitación «in situ».

b) Inundaciones por escorrentía, avenida o desbordamiento de cauces, provocada o potenciada por:
Precipitaciones.

Deshielo o fusión de nieve.

Obstrucción de cauces naturales o artificiales.

Invasión de cauces, aterramientos o dificultad de avenamiento.

Acción de las mareas.

c) Inundaciones por rotura o la operación incorrecta de obras de infraestructura hidráulica.

2- ESTRUCTURA DE LA PLANIFICACIÓN DE PROTECCIÓN CIVIL ANTE EL RIESGO DE INUNDACIONES.

Se consideran dos niveles de planificación:

- Planificación Estatal. En caso de emergencia de interés nacional, se integran aquí los Planes de Emergencia de Presas.
- Planificación de la Comunidad Autónoma. Aquí se integran los Planes de Emergencia de Presas siempre que no respondan a situaciones de emergencia de interés nacional, y los Planes de Actuación de Ámbito Local que hayan de elaborarse en el ámbito territorial de la CCAA.

3- LOS PLANES ESTATALES ANTE EL RIESGO DE INUNDACIONES.

El Plan Estatal de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones establecerá la organización y procedimientos de actuación de aquellos recursos y servicios del Estado que sean necesarios para asegurar una respuesta eficaz del conjunto de las Administraciones Públicas, ante situaciones de emergencia por riesgo de inundaciones en las que esté presente el interés nacional, así como los mecanismos de apoyo a los Planes de Comunidad Autónoma en el supuesto de que éstos requieran o no dispongan de capacidad suficiente de respuesta.

Funciones básicas:

- Prever la estructura organizativa que permita la dirección y coordinación de los Planes de Comunidad Autónoma, en situaciones de emergencia por riesgo de inundaciones, en las que esté presente el interés nacional.
- Establecer un sistema y los procedimientos de información sobre previsiones meteorológicas, relacionadas con el riesgo de inundaciones, a utilizar con fines de Protección Civil.
- Establecer un sistema y los procedimientos de información sobre datos hidrológicos, de interés para la previsión de avenidas, para su aplicación en Protección Civil.
- Prever los mecanismos de aportación de medios y recursos de intervención de emergencias por inundaciones para aquellos casos en que los previstos en los Planes correspondientes se manifiesten insuficientes.

- Establecer un banco de datos, sobre medios y recursos movilizables en emergencias por inundaciones en las que esté presente el interés nacional.
- Prever los mecanismos de solicitud y recepción, en su caso, de ayuda internacional para su empleo en actividades de protección civil.

Aprobación del Plan Estatal: El Plan Estatal será aprobado por el Gobierno, a propuesta del Ministro de Justicia e Interior, previo informe de la Comisión Nacional de Protección Civil.

Predicción y vigilancia meteorológica: El objetivo es proporcionar información, con anticipación suficiente, sobre la posibilidad de fenómenos atmosféricos adversos, relacionados con el riesgo de inundaciones, para que de acuerdo con los criterios que se especifiquen, se adopten las medidas preventivas a que haya lugar para la protección de personas y bienes, y el aviso a la población de las áreas potencialmente afectadas.

Previsión e información hidrológica: El objetivo es proporcionar, ante la concurrencia de fenómenos capaces de generar avenidas, la información necesaria sobre la situación hidrológica de la zona que puede generar dicha avenida y de la que puede verse afectada por la misma, así como la evolución de dicha situación hidrológica, con objeto de que puedan adoptarse medidas adecuadas de protección de personas y bienes, y alertar a la población que pueda resultar afectada.

4- LOS PLANES DE CCAA ANTE EL RIESGO DE INUNDACIONES.

Estos planes tienen que establecer la organización y procedimientos de actuación de los recursos y servicios cuya titularidad corresponda a la Comunidad Autónoma de que se trate y los que puedan ser asignados al mismo por otras Administraciones Públicas y de otros pertenecientes a entidades públicas o privadas, al objeto de hacer frente a las emergencias por riesgo de inundaciones, dentro del ámbito territorial de aquélla.

Las funciones básicas de estos planes son:

- Concretar la estructura organizativa y los procedimientos para la intervención en emergencias por inundaciones, dentro del territorio de la Comunidad Autónoma que corresponda.
- Prever los mecanismos y procedimientos de coordinación con el Plan Estatal de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones, para garantizar su adecuada integración.
- Establecer los sistemas de articulación con las organizaciones de las Administraciones Locales de su ámbito territorial y definir criterios de planificación para los Planes de Actuación de Ámbito Local de las mismas.
- Precisar la zonificación del territorio en función del riesgo de inundaciones (análisis de las zonas de inundaciones potenciales y análisis de riesgos por inundaciones), delimitar áreas

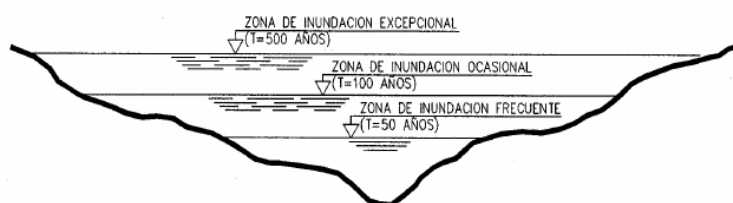
según posibles requerimientos de intervención para protección de la población y localizar la infraestructura física de previsible utilización en las operaciones de emergencia.

- Especificar procedimientos de información a la población.
- Prever el procedimiento de catalogación de medios y recursos específicos a disposición de las actuaciones previstas.

Aprobación de estos planes: El Plan de Protección Civil de Comunidad Autónoma ante el riesgo de Inundaciones será aprobado por el órgano competente de la Comunidad Autónoma, previo informe de la correspondiente Comisión de Protección Civil de Comunidad Autónoma, y homologado por la Comisión Nacional de Protección Civil.

Análisis de las zonas de inundaciones potenciales o afectadas por fenómenos asociados: tendrá por finalidad la identificación y clasificación de las áreas inundables del territorio a que cada Plan se refiera con arreglo a los criterios siguientes:

- Zona de inundación frecuente: Zonas inundables para avenidas de período de retorno de cincuenta años.
- Zonas de inundación ocasional: Zonas inundables para avenidas de período de retorno entre cincuenta y cien años.
- Zonas de inundación excepcional: Zonas inundables para avenidas de período de retorno entre cien y quinientos años.



La zonificación territorial realizada a los efectos previstos en la presente Directriz, se revisará teniendo en cuenta la delimitación de zonas que, al objeto de la aplicación del artículo 14 del Reglamento del Dominio Público Hidráulico, se derive del desarrollo de los Planes Hidrológicos de Cuenca.

Por su posible influencia en la generación de daños a personas, edificaciones o infraestructuras, el análisis deberá completarse con la catalogación de puntos conflictivos (los que, a consecuencia de las modificaciones ejercidas por el hombre en el medio natural o debido a la propia geomorfología del terreno, pueden producirse situaciones que agraven de forma substancial los riesgos o los efectos de la inundación) y la localización de las áreas potencialmente afectadas por fenómenos geológicos asociados a precipitaciones o avenidas (movimientos de ladera o de aceleración de los movimientos ya existentes).

Análisis de riesgos por inundaciones: tendrá por objetivo la clasificación de las zonas inundables en función del riesgo y la estimación, en la medida de lo posible, de las afecciones y daños que puedan producirse por la ocurrencia de las inundaciones en el ámbito territorial de la planificación, con la finalidad de prever diversos escenarios de estrategias de intervención en casos de emergencia.

Las zonas inundables se clasificarán por razón del riesgo en la forma siguiente:

- Zonas A, de riesgo alto. Son aquellas zonas en las que las avenidas de cincuenta, cien o quinientos años producirán graves daños a núcleos de población importante. También se considerará zonas de riesgo máximo aquellas en las que las avenidas de cincuenta años produciría impactos a viviendas aisladas, o daños importantes a instalaciones comerciales o industriales y/o a los servicios básicos. Dentro de estas zonas, y a efectos de emergencia para las poblaciones, se establecerán las siguientes subzonas:
- Zonas A-1. Zonas de riesgo alto frecuente. Son aquellas zonas en las que la avenida de cincuenta años producirán graves daños a núcleos urbanos.
- Zonas A-2. Zonas de riesgo alto ocasional. Son aquellas zonas en las que la avenida de cien años producirían graves daños a núcleos urbanos.
- Zonas A-3. Zonas de riesgo alto excepcional. Son aquellas zonas en las que la avenida de quinientos años produciría graves daños a núcleos urbanos.
- Zonas B de riesgo significativo. Son aquellas zonas, no coincidentes con las zonas A, en las que la avenida de los cien años produciría impactos en viviendas aisladas, y las avenidas de período de retorno igual o superior a los cien años, daños significativos a instalaciones comerciales, industriales y/o servicios básicos.
- Zonas C de riesgo bajo. Son aquellas, no coincidentes con las zonas A ni con las zonas B, en las que la avenida de los quinientos años produciría impactos en viviendas aisladas, y las avenidas consideradas en los mapas de inundación, daños pequeños a instalaciones comerciales, industriales y/o servicios básicos.

Considerando la situación de los núcleos de población y las vías de comunicación en relación con las zonas inundables, se identificarán las áreas de posibles evacuaciones, las áreas que puedan quedar aisladas, los puntos de control de accesos, los itinerarios alternativos y los posibles núcleos de recepción y albergue de personas evacuadas.

5- PLANES DE ACTUACIÓN DE ÁMBITO LOCAL.

El Plan de Comunidad Autónoma establecerá, dentro de su respectivo ámbito territorial, directrices para la elaboración de planes de actuación de ámbito local, y especificará el marco organizativo general que posibilite la plena integración operativa de éstos en la organización de aquél.

Las funciones básicas de estos planes son:

- Prever la estructura organizativa y los procedimientos para la intervención en emergencias por inundaciones, dentro del territorio del municipio o entidad local que corresponda.
- Catalogar elementos vulnerables y zonificar el territorio en función del riesgo, en concordancia con lo que establezca el correspondiente Plan de Comunidad Autónoma, así como delimitar áreas según posibles requerimientos de intervención o actuaciones para la protección de personas y bienes.
- Especificar procedimientos de información y alerta a la población.
- Catalogar los medios y recursos específicos para la puesta en práctica de las actividades previstas.

Aprobación de estos Planes: Los Planes de Actuación Municipal y de otras Entidades se aprobarán por los órganos de las respectivas corporaciones en cada caso competentes y serán homologados por la Comisión de la Comunidad Autónoma que corresponda.

6- PLANIFICACIÓN DE EMERGENCIA ANTE EL RIESGO DE ROTURA O AVERÍA GRAVE DE PRESAS.

Desde la perspectiva de la gestión de los recursos hídricos, el aspecto más importante de la Directriz básica de planificación de protección civil ante el riesgo de inundaciones es el relativo a la planificación de emergencia ante el riesgo de rotura o avería grave de presas por ser de su competencia su aprobación y, en muchos casos, su elaboración.

En este sentido, el apartado 3.5. de la Directriz incluye la Planificación de Emergencia ante el Riesgo de Rotura o Avería grave de Presas. Este apartado comprende dos subapartados básicos: Los Planes de Emergencia de Presas e Interfase entre el Plan de Emergencia de Presas y los Planes de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones.

Dentro del apartado relativo a los Planes de Emergencia de Presas se incluye la clasificación de las presas en función del riesgo potencial, que está debidamente coordinada con la incluida en el Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses por haberse desarrollado este último en paralelo con la Directriz. Así, se establecen tres categorías:

- Categoría A: Corresponde a las presas cuya rotura o funcionamiento incorrecto puede afectar gravemente a núcleos urbanos o servicios esenciales, o producir daños materiales o medio ambientales muy importantes.
- Categoría B: Corresponde a las presas cuya rotura o funcionamiento incorrecto puede ocasionar daños materiales o medio ambientales importantes o afectar a un reducido número de viviendas.
- Categoría C: Corresponde a las presas cuya rotura o funcionamiento incorrecto puede producir daños materiales de moderada importancia y sólo incidentalmente pérdida de vidas humanas. En todo caso, a esta categoría pertenecerán todas las presas no incluidas en las Categorías A o B.

Presas que han de disponer de Plan de Emergencia: todas las presas que hayan sido clasificadas en las categorías A o B.

Elaboración del Plan de Emergencia de Presa: la elaboración del Plan de Emergencia de Presa es responsabilidad del titular de la misma. Serán asimismo obligaciones del titular, la implantación, mantenimiento y actualización del Plan de Emergencia de la Presa. En el caso de que la explotación de la Presa sea cedida o arrendada a otra entidad o persona física o jurídica el cesionario o arrendatario asumirá las obligaciones del titular, si bien éste será responsable subsidiario de las mismas.

Aprobación de los Planes de emergencia:

- Cuencas intercomunitarias: serán aprobados por la Dirección General de Obras Hidráulicas, previo informe de la Comisión Nacional de Protección Civil.
- Cuencas intracomunitarias: serán aprobados por los órganos de las Comunidades Autónomas que ejerzan competencias sobre el dominio público hidráulico. En este caso el informe previo a la aprobación de dichos Planes habrá de efectuarse por la Comisión de Protección Civil de la Comunidad Autónoma de que se trate.

Plazos para la aprobación de los Planes de emergencia:

- Los titulares de presas construidas antes de la puesta en vigor de la presente Directriz y que hayan sido clasificadas en la categoría A habrán de presentar los correspondientes Planes de Emergencia al órgano competente para su aprobación, antes de dos años contados a partir de la fecha en que se produjo la resolución de clasificación.
- Este plazo será de cuatro años para las presas clasificadas en la categoría B.

- A partir de la fecha de puesta en vigor de esta Directriz será preceptivo para la aprobación de proyectos de construcción de presas la incorporación a las mismas del correspondiente estudio sobre zonificación territorial y análisis de riesgos.
- Asimismo, a partir de esa misma fecha, será condición para la puesta en explotación de nuevas presas que hayan sido clasificadas en las categorías A o B, la previa aprobación y la adecuada implantación del correspondiente Plan de Emergencia de Presa.

Los Planes de Emergencia de Presas tendrán el siguiente contenido mínimo:

- Análisis de seguridad de la presa: El análisis comprenderá el estudio de los fenómenos que puedan afectar negativamente a las condiciones de seguridad consideradas en el proyecto y construcción de la presa de que se trate o poner de relieve una disminución de tales condiciones. Se tiene en cuenta el posible funcionamiento anormal de la propia presa como su comportamiento frente a avenidas, efectos sísmicos, deslizamientos de laderas o avalanchas de rocas, nieve o hielo.
- Zonificación territorial y análisis de los riesgos generados por la rotura de la presa: hay que delimitar las áreas que se puedan ver cubiertas por las aguas tras esa eventualidad y estimar los daños que ello podría ocasionar. En los casos en los que se requiera hay que contemplar la hipótesis de rotura encadenada de presas. La delimitación del área inundable, con detalle de las zonas que progresivamente quedarían afectadas por la rotura, así como la información territorial relevante para el estudio del riesgo, se plasmará en planos, confeccionados sobre cartografía oficial, de escala adecuada, que figurarán como documentos anexos al Plan.
- Normas de actuación: Tomando como fundamento el Análisis de Seguridad, en el Plan habrán de especificarse las normas de actuación que resulten adecuadas para la reducción o eliminación del riesgo.
- Organización: En el Plan se establecerá la organización de los recursos humanos y materiales necesarios para la puesta en práctica de las actuaciones previstas.
- Medios y recursos: En el Plan se harán constar los medios y recursos, materiales y humanos con que se cuenta para la puesta en práctica del mismo. Para cumplir con el objetivo de comunicación rápida a la población existente en la zona inundable en un intervalo no superior a treinta minutos, el Plan de Emergencia de Presa deberá prever la implantación de sistemas de señalización acústica u otros sistemas de aviso alternativo.

Escenarios de seguridad y de peligro de rotura de presas: Para el establecimiento de las normas y procedimientos de comunicación e información con los organismos públicos implicados en la gestión de la emergencia, en los Planes de Emergencia de Presas los distintos escenarios de seguridad y de peligro se calificarán de acuerdo con las definiciones siguientes:

- Escenario de control de la seguridad o «Escenario 0»: Las condiciones existentes y las previsiones, aconsejan una intensificación de la vigilancia y el control de la presa, no requiriéndose la puesta en práctica de medidas de intervención para la reducción del riesgo.
- Escenario de aplicación de medidas correctoras o «Escenario 1»: Se han producido acontecimientos que de no aplicarse medidas de corrección (técnicas, de explotación, desembalse, etc.), podrían ocasionar peligro de avería grave o de rotura de la presa, si bien la situación puede solventarse con seguridad mediante la aplicación de las medidas previstas y los medios disponibles.
- Escenario excepcional o «Escenario 2»: Existe peligro de rotura o avería grave de la presa y no puede asegurarse con certeza que pueda ser controlado mediante la aplicación de las medidas y medios disponibles.
- Escenario límite o «Escenario 3»: La probabilidad de rotura de la presa es elevada o ésta ya ha comenzado, resultando prácticamente inevitable el que se produzca la onda de avenida generada por dicha rotura.

Comunicación de incidentes por la dirección del Plan de Emergencia de Presa:

- Desde el momento en que las previsiones o acontecimientos extraordinarios aconsejen una intensificación de la vigilancia de la presa (escenario 0), el director del Plan de Emergencia de la misma lo habrá de poner en conocimiento del órgano o servicio que a estos efectos se establezca por la Dirección General de Obras Hidráulicas, o en el caso de cuencas intracomunitarias, por la Administración Hidráulica de la Comunidad Autónoma.
- Dicho órgano o servicio deberá ser permanentemente informado hasta el final de la emergencia, por el director del Plan de Emergencia de Presa, acerca de la evolución de la situación, valoración del peligro y medidas adoptadas para el control de riesgo.
- El órgano o servicio aludido prestará asesoramiento técnico al director del Plan de Emergencia de Presa, en los casos que lo requieran.

Previsiones de los Planes de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones:

- Los Planes Especiales de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones de las Comunidades Autónomas cuyo ámbito territorial pueda quedar afectado por inundaciones generadas por rotura de presas, de acuerdo con la delimitación de las áreas inundables que se efectúen en los respectivos Planes de Emergencia de Presas habrán de prever los procedimientos de alerta de sus propios servicios ante dicha eventualidad, así como las actuaciones necesarias para el aviso a las autoridades municipales y a la población, y para la protección de las personas y de los bienes.

- En los Planes de Actuación Municipal cuyo ámbito territorial pueda verse afectado en un intervalo de tiempo de dos horas o inferior, contando desde el momento hipotético de la rotura, habrán de contemplarse los aspectos siguientes:
- Delimitación de las zonas de inundación, de acuerdo con lo establecido en el corriente Plan de Emergencia de Presa.
- Previsión de los medios y procedimientos de alerta y alarma a la población y de comunicación con el órgano de dirección del correspondiente Plan de Comunidad Autónoma.
- Previsión de las vías y medios a emplear por la población para su alejamiento inmediato de las áreas de peligro.
- En el Plan Estatal se establecerán los procedimientos organizativos para que, en caso necesario, una autoridad estatal pueda ejercer la dirección y coordinación de las actuaciones del conjunto de las Administraciones Públicas en toda el área que pueda verse afectada por la rotura de una presa, cuando dicha área supere el ámbito territorial de Comunidad Autónoma en que la presa se encuentra ubicada y la emergencia sea declarada de interés nacional.

7- FASES Y SITUACIONES COMUNES A TODOS LOS PLANES DE PROTECCIÓN CIVIL ANTE EL RIESGO DE INUNDACIONES.

En los Planes de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones se distinguirán las fases y situaciones siguientes:

- Fase de pre-emergencia. Fase caracterizada por la existencia de información sobre la posibilidad de ocurrencia de sucesos capaces de dar lugar a inundaciones. Esta fase se iniciará, por lo general, a partir de notificaciones sobre predicciones meteorológicas de precipitaciones intensas u otras causas que puedan ocasionar riesgo de inundaciones y se prolongará con el seguimiento de los sucesos que posteriormente se desarrollen, hasta que del análisis de su evolución se concluya que la inundación es inminente, o bien determine la vuelta a la normalidad. El objetivo general de esta fase es la alerta de las autoridades y servicios implicados en el plan correspondiente, así como la información a la población potencialmente afectada.
- Fase de emergencia. Esta fase tendrá su inicio cuando del análisis de los parámetros meteorológicos e hidrológicos se concluya que la inundación es inminente o se dispongan de informaciones relativas a que ésta ya ha comenzado, y se prolongará durante todo el desarrollo de la inundación, hasta que se hayan puesto en práctica todas las medidas necesarias de protección de personas y bienes y se hayan restablecido los servicios básicos en la zona afectada. En esta fase se distinguirán las siguientes situaciones:

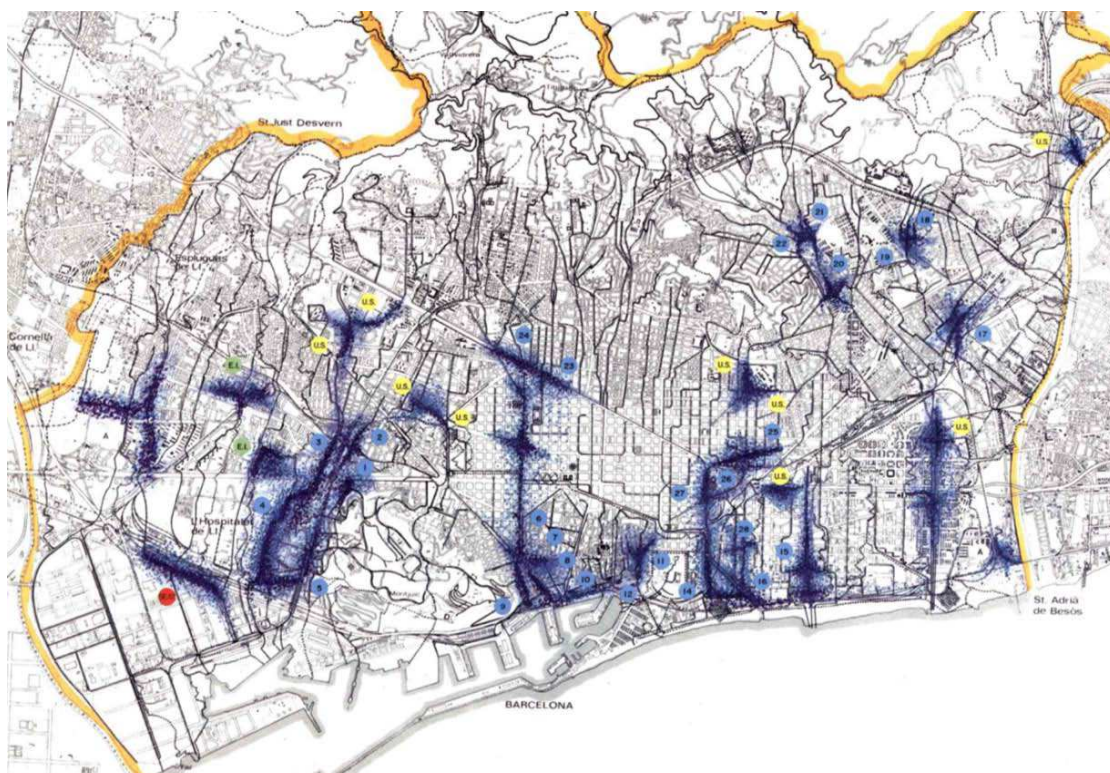
- Situación 0: Los datos meteorológicos e hidrológicos permiten prever la inminencia de inundaciones en el ámbito del Plan, con peligro para personas y bienes.
- Situación 1: Se han producido inundaciones en zonas localizadas, cuya atención puede quedar asegurada mediante el empleo de los medios y recursos disponibles en las zonas afectadas.
- Situación 2: Se han producido inundaciones que superan la capacidad de atención de los medios y recursos locales o aun sin producirse esta última circunstancia, los datos pluviométricos e hidrológicos y las predicciones meteorológicas, permiten prever una extensión o agravación significativa de aquéllas.
- Situación 3: Emergencias que, habiéndose considerado que está en juego el interés nacional, así sean declaradas por el Ministro de Justicia e Interior.

Fase de normalización. Fase consecutiva a la de emergencia que se prolongará hasta el restablecimiento de las condiciones mínimas imprescindibles para un retorno a la normalidad en las zonas afectadas por la inundación. Durante esta fase se realizarán las primeras tareas de rehabilitación en dichas zonas, consistentes fundamentalmente en la inspección del estado de edificios, la limpieza de viviendas y vías urbanas, la reparación de los daños más relevantes, etc.

- ANEJO 4 -

LA EXPERIENCIA DE BARCELONA COMO MODELO DE SISTEMA DE GESTION Y EXPLOTACION DEL DRENAJE EN ESPAÑA

Barcelona en los años 90 tenía serios problemas con el drenaje de la ciudad, que ponían en peligro el bienestar de los ciudadanos y el cuidado del medio ambiente. Fundamentalmente estos problemas eran la gestión deficiente del alcantarillado, el déficit de infraestructuras y la falta de medios técnicos, que ocasionaban problemas de inundaciones e impacto ambiental, especialmente en las playas.



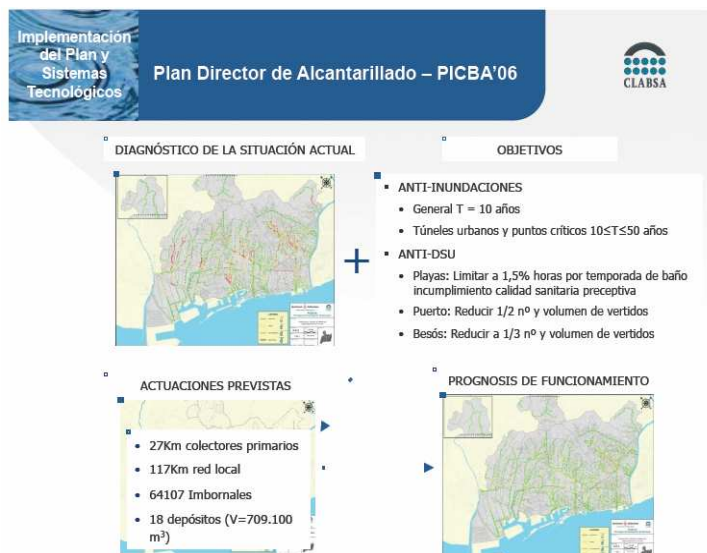
Principales zonas en las que se presentaban problemas con las aguas pluviales en Barcelona antes de 1992.

"La experiencia de Clabsa"

En 1992, el Ayuntamiento creó la empresa mixta CLABSA, con el objetivo de llevar a cabo la modernización del sistema. CLABSA diseñó e implementó una filosofía de gestión avanzada del drenaje urbano (GADU), basada en un profundo conocimiento del sistema, que da pie a una planificación detallada, elaborada con visión integradora, seguida de un cuidadoso control de las actuaciones, un explotación activa del sistema con un idóneo mantenimiento, y todo ello utilizando las más modernas herramientas de gestión y de integración tecnológica.

Barcelona dispone 12 depósitos de retención, con un volumen total de 500.000 m³, más 5 compuertas de derivación, una potente red de telecontrol que supervisa limnímetros, pluviómetros, estaciones de control de calidad del agua, radares meteorológicos, etc.

Desde el punto de vista de la reducción del impacto ambiental, esta gestión ha permitido la reducción de



vertidos al medio receptor de casi 1.000 toneladas de materia en suspensión al año, gracias a la regulación de casi 4.000.000 m³/año.

El Puerto de Barcelona ha informado de una notable reducción de las zonas anóxicas en las zonas interiores del puerto, debido a la reducción de vertidos. Además de la mejora en la calidad de las aguas de baño de las playas y la mejor información al público. Con un objetivo, pasar del 5 % de las horas de la temporada de baño que la calidad no es óptima debido a los vertidos en tiempo de lluvia del drenaje, a un 1,5 %.

La experiencia de Barcelona en la planificación y gestión avanzada de su alcantarillado ha puesto de manifiesto importantes beneficios para los ciudadanos, como la disminución de incomodidades por olores e inundaciones y la mejora en la preservación del medio ambiente urbano y de los medios receptores.



El éxito de esta gestión avanzada, está en expansión en otras ciudades, como Alicante, Lisboa, Murcia, Reus, Sevilla, etc.

- ANEJO 5 -

EMPLEO DE SUDS EN ESPAÑA Y RESTO DEL MUNDO

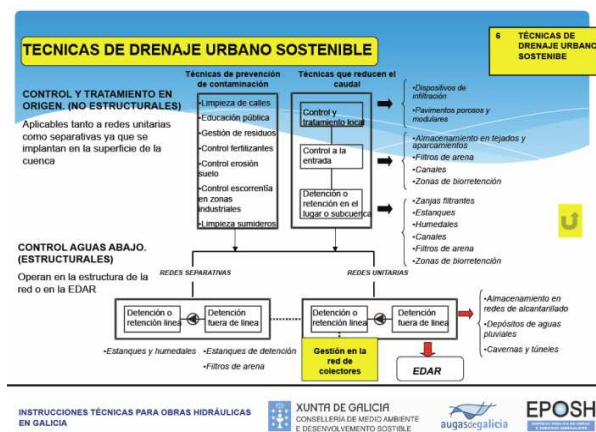
3- CASOS PRACTICOS DE SUDS EN ESPAÑA

- **En el ámbito de la planificación**, en la publicación “La sequía en España: Directrices para minimizar su impacto” (Comité de Expertos en Sequía del MMA, 2007), se plantea la Captación, Drenaje y Gestión de aguas pluviales como una estrategia para desarrollar desde la planificación hidrológica, proponiendo la introducción del drenaje separativo, la permeabilización de superficies urbanas y la captación de agua de lluvia, por normativa municipal, en todo nuevo desarrollo urbanístico, así como fomentar estas medidas en zonas ya urbanizadas, mediante incentivos económicos a los vecinos y empresas que las adopten.

Así, en esta línea, en la Ordenanza de Gestión y uso eficiente del Agua en la Ciudad de Madrid, (Ayuntamiento de Madrid, 2006) expone que el modelo de gestión de los recursos hídricos debe tomar como base el ciclo natural del agua y recoge una serie de medidas susceptibles de regulación, para permitir avanzar en el uso más sostenible del agua en la ciudad, por ejemplo, en bulevares y medianas un 50 % mínimo de superficie permeable y en plazas y zonas redes urbanas, un mínimo de 35 % de superficie permeable.

En Libro Verde de Medio Ambiente Urbano, se recogen estos criterios: Urbanizar reduciendo el sellado y la impermeabilización del suelo, establecer planes urbanísticos con un mínimo de suelo permeable, los efectos beneficiosos de las cubiertas vegetales, el aprovechamiento del agua de lluvia y la vinculación del desarrollo urbano al ciclo del agua.

En Galicia existe una clara apuesta por el control de la contaminación de las aguas pluviales: **INSTRUCCIONES TECNICAS PARA OBRAS HIDRAULICAS EN GALICIA**, (noviembre 2009), en las que se establecen como solución más adecuada el uso de TDUS (Técnicas de Drenaje Urbano Sostenible), potenciando su uso en cualquier ámbito de los sistemas de saneamiento y drenaje



- **En el ámbito de la investigación**, destacan en la Universidad de Cantabria, el grupo de investigación GITECO y en la Universidad de A Coruña, el Area de Ingeniería Hidráulica, GEAMA.

GITECO está desarrollando el primer manual de construcción de pavimentos permeables biodegradantes de hidrocarburos financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia. El objetivo de este manual es generalizar el uso de estos pavimentos en nuestras ciudades para llegar a atajar los problemas de contaminación difusa y la sobreexplotación de los saneamientos. A mediados de 2.008 se creó la Red SUDS, financiado por la Sociedad Regional de Cantabria I+D+I (IDICAN), para acercar al conjunto de la sociedad sus recursos y conocimientos sobre los SUDS y sentar las bases para el contacto e intercambio de información entre todos los entes interesados en el desarrollo de estas técnicas en España. Dentro de esta línea de investigación, se han desarrollado diversos proyectos, entre los que destacan el titulado “Desarrollo de nuevas estructuras de firmes filtrantes biodegradantes de Hidrocarburos (FIDICA)”. La principal finalidad de este proyecto era el diseño de estructuras de firmes filtrantes capaces de captar y tratar el agua de la escorrentía superficial urbana. Así, en 2005, GITECO propuso al Ayuntamiento de Gijón la ejecución de 15 plazas de aparcamiento experimentales dentro del aparcamiento permeable de la Guía. El seguimiento y monitorización de estas plazas desde su ejecución han permitido el estudio en profundidad de estos pavimentos. Dentro de las conclusiones que se han obtenido, destacan:

- se reduce la formación de la escorrentía superficial retrasando la llegada del agua de lluvia al sistema de saneamiento, evitando así las puntas de caudal que causan las inundaciones y los reboses de tanques de tormenta

- tras un lavado inicial de los materiales de construcción, la calidad del agua efluente filtrada a través de estos firmes permeables, es mejor que la calidad de la escorrentía superficial.

GEAMA estudia los procesos de transformación lluvia-escorrentía en cuencas rurales y urbanas, mediante la realización de ensayos de laboratorio, instrumentación de cuencas y modelización numérica; actualmente se centra en el desarrollo de modelos bidimensionales que permitan calcular caudales en episodios de lluvia intensos, incluyendo los efectos de los patrones de edificación, rugosidad del terreno, duración temporal y distribución espacial de la precipitación.

- **En el campo de aplicaciones concretas**, se puede destacar las aplicaciones de la consultoría de ingeniería civil, **PMEnginvería**, especializada en la gestión eficiente del agua, que ha realizado diversos estudios de implantación de SUDS:

- ✓ Aprovechamiento de las aguas pluviales, Barrio de La Marina, Zona Franca, Barcelona, para BAGURSA, Ayto. Barcelona,
- ✓ Posibilidades de mejora en el ciclo del agua en Plata y Castañar, Villaverde, Madrid, en el que aplicando técnicas de SUDS y reutilización de agua grises, se cubre la demanda de agua de riego.
- ✓ Nave industrial en Villanueva de Gállego (Zaragoza): se construye un depósito semienterrado de laminación-infiltración en la zona de jardines, para recoger el agua de lluvia y usarla para riego y para uso sanitario (recarga inodoros), a la vez que resuelve el problema de la evacuación de las pluviales de la cubierta de la nave, que por cota era imposible llegar al colector del polígono.
- ✓ Cuneta nivelada drenante en Alzira
- ✓ Red de drenaje sostenible y reutilización de pluviales en Torre Baró (Barcelona), para BAGURSA, Ayto. Barcelona: bajo el objetivo de que las actuaciones urbanísticas fueran complementarias con el ciclo natural del agua, es diseñó la instalación de SUDS para captar y transportar las escorrentías generadas en viales y cubiertas de los edificios, para conducir las al punto más bajo, Plaza del Eucalipto, para reutilización en riego y limpieza viaria.
- ✓ En la actualidad participa en el proyecto **AQUAVAL** (40 % financiación UE, 60 % Diputación de Valencia) del Ayuntamiento de Xàtiva y socios PME, Ayto. Benaguasil, Universidad de Abertay (Escocia) y Fundación Comunidad Valenciana Región Europea, con un presupuesto de 1 millón de euros durante 42 meses (1/01/2010-30/06/2013), con el objetivo de dar soluciones innovadoras a problemas relacionados con la cantidad y calidad de

las escorrentías urbanas, mediante el empleo de SUDS. Disminuir el efecto “isla de calor” que se produce en las ciudades

- Otras experiencias existen en San Sebastián: en el Parque de Cristina Enea existe un depósito de infiltración mediante cajas de plástico.
- En el Area Metropolitana de Barcelona, en el Parque Fluvial del Prat de Llobregat se han instalado celdas de infiltración.

4- IMPLEMENTACION DE SUDS A NIVEL INTERNACIONAL

El uso de técnicas SUDS está ampliamente extendido en el mundo (Australia, EEUU, Japón, Reino Unido, Alemania, Holanda Francia, Sudáfrica, Nueva Zelanda...). Se han realizado multitud de proyectos que han derivado en numerosas guías, normativas, legislación, etc.

En la década de los 70, EEUU reconoció el problema de la contaminación difusa y en 1972 se llevó a cabo, probablemente, la primera investigación acerca de los firmes permeables, y en la actualidad es necesario la elaboración de Planes de Gestión de Pluviales que consideren el uso de técnicas SUDS ó BMPs, siendo uno de los más completos el ofrecido por el Estado de California (Caltrans, 2007). Además, la EPA (Environmental Protection Agency) tiene diversos programas nacionales relacionados con el drenaje sostenible y la utilización de BMPs. La Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (American Society of Civil Engineers, ASCE) lleva años desarrollando diversos programas de investigación y desarrollo de técnicas para el control de la contaminación difusa producida por la escorrentía superficial y sobre manuales, uno de los más completos es el publicado por City of Lincoln, Nebraska and the Lower Platte South Natural Resources District (2006).

En Australia se produjo un proceso similar a finales de los 90 que ha derivado a que en la actualidad existe normativa, legislación y manuales sobre SUDS (WSUD, water sensitive urban design), destacando el proceso de transición de Melbourne, reconocida en el ámbito internacional como pionera en el área de gestión de calidad del agua de lluvia en entornos urbanos.

En el Reino Unido, el desarrollo de los SUDS ha tenido lugar durante los últimos años, basándose en los objetivos marcados por la Agencia 21 respecto a la gestión del agua en las ciudades; esta corriente específica la forman multitud de experiencias reales, empresas especializadas, congresos y grupos de trabajo de profesionales especializados en drenaje sostenible (Nacional SUDS Working Group, 2003 y 2004). Tampoco faltan guías y manuales como los editados por la Construction Industry Research and Information Association (CIRIA), que lleva desarrollando desde hace más de

diez años distintos programas relacionados con los SUDS, muchos de los cuales continúan en la actualidad (CIRIA, 2008).

En Francia, el uso de técnicas alternativas de drenaje para la gestión de la escorrentía superficial se aplica hace años con éxito (Chaïb, 2003), sin embargo, los firmes permables o estructuras embalse (chaussés ou structures réservoirs) ya fueron utilizadas como almacenamiento (del Val Melús, 1990) desde 1978 en el área urbana de Burdeos, y desde allí se extendieron a otras regiones del país galo (Raimbault et al., 1982; Goacolou, 1993). Las investigaciones sobre firmes permeables llevadas a cabo en Francia en las décadas de los 80 y 90 quedan resumidas en la publicación de Legret (2001), editada por el Laboratorio Central de Puentes y Caminos (LCPC).

En Alemania existen regulaciones que potencian el aumento del porcentaje de superficie permeable (Fach et al., 2002) y aquí los firmes permeables han sido utilizados desde los años setenta, siendo en la actualidad, un método de construcción regulado (Steffen y Meinheit, 2006); en Dinamarca se incentiva la construcción de aparcamientos verdes por su valor paisajístico (Kluck et al., 2005). Además Francia, Alemania y Dinamarca, junto con República Checa, Grecia, Holanda, Suecia y Reino Unido, participan en el proyecto “Day Water”, del 5º Programa Marco Europeo. Este proyecto está desarrollando un ADSS (Adaptive Decisión SupportSystem) que pretende facilitar el proceso de análisis y toma de decisión sobre los diseños de sistemas de drenaje sostenible, para la correcta utilización, entre otras técnica, de pavimentos permeables (Middlessex University, 2003). (Revitt, D.M et al, 2003) recoge el estado de implantación de SUDS en Europa, destacando sus beneficios con los sistemas convencionales de drenaje y haciendo hincapié en la necesidad de avanzar en las bases para su desarrollo.

	SISTEMA CONVENCIONAL COLECTORES	SISTEMA ALTERNATIVO SUDS
Coste de construcción	Pueden ser equivalentes, aunque los usos indirectos de los SUDS reducen su coste real	
Costes de operación y mantenimiento	Establecido	No establecido: falta experiencia
Control de inundaciones en la propia cuenca	Sí	Sí
Control de inundaciones aguas abajo	No	Sí
Reutilización	No	Sí
Recarga / Infiltración	No	Sí
Eliminación de contaminantes	Baja	Alta
Beneficios en servicios al ciudadano	No	Sí
Beneficios educacionales	No	Sí
Vida útil	Establecida	No establecida: falta experiencia
Requerimientos de espacio	Insignificantes	Dependiendo del sistema, pueden ser importantes
Criterios de diseño	Establecidos	No establecidos: falta experiencia

Comparación entre el sistema de drenaje convencional y el sistema alternativo SUDS (Revitt, D.M et al, 2003)

3- EFICACIA DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO SUDS

Existen varios métodos para estimar las concentraciones y cargas de contaminación movilizadas por la escorrentía superficial entre los que se pueden citar los modelos físicos de acumulación y lavado o los modelos empíricos y de regresión (MMA, 2002). Sin embargo, para obtener datos de mejor calidad deben realizarse estudios locales para determinar, principalmente, las concentraciones de SST y su grado de sedimentabilidad (US-EPA, 2002).

A la hora de buscar los rendimientos de eliminación de las distintas SUDS hay que tener en cuenta, en primer lugar, que las distintas bases de datos actuales no suelen contemplar la estrategia de diseño con la que fueron construidas por lo que existirán datos serán representativos de estrategias de control de caudales puntas y otros del control de la contaminación.

Algunos otros resultados encontrados en la literatura de la efectividad de los SUDS ó BMP, además de los indicados en el texto principal del capítulo donde se analiza la perspectiva técnica, son:

- EPA 2005 **National Management Measures to Control Nonpoint Source Pollution from Urban Areas**

Table 5.8: Effectiveness of management practices for runoff control (adapted from Caraco and Winer, 2000).

Runoff Treatment or Control Practice Category or Type	Median Pollutant Removal (Percent)							
	No. of studies	TSS	TP	OP	TN	NOx	Cu	Zn
Quality Control Pond	3	3	19	N/A	5	9	10	5
Dry Extended Detention Pond	6	61	20	N/A	31	-2	29	29
Dry Ponds	9	47	19	N/A	25	3.5	26	26
Wet Extended Detention Pond	14	80	55	69	35	63	44	69
Multiple-Pond System	1	91	76	N/A	N/A	87	N/A	N/A
Wet Pond	28	79	49	39	32	36	58	65
Wet Ponds	43	80	51	65	33	43	57	66
Shallow Marsh	20	83	43	66	26	73	33	42
Extended Detention Wetland	4	69	39	59	56	35	N/A	-74
Pond/Wetland System	10	71	56	37	19	40	58	56
Submerged Gravel Wetland	2	83	64	14	19	81	21	55
Wetlands	36	76	49	48	30	67	40	44
Organic Filter	7	88	61	30	41	-15	66	89
Perimeter Sand Filter	3	79	41	68	47	-53	25	69
Surface Sand Filter	7	87	59	N/A	31.5	-13	49	80
Vertical Sand Filter	2	58	45	21	15	-87	32	56
Bioretention	1	N/A	65	N/A	49	16	97	95
Filtering Practices*	18	86	59	57	38	-14	49	88
Infiltration Trench	3	100	42	100	42	82	N/A	N/A
Porous Pavement	3	95	65	10	83	N/A	N/A	99
Ditches [†]	9	31	-16	N/A	-9	24	14	0
Grass Channel	3	68	29	32	N/A	-25	42	45
Dry Swale	4	93	83	70	92	90	70	86
Wet Swale	2	74	28	-31	40	31	11	33
Open Channel Practices	9	81	34	1.0	84	31	51	71
Oil-Grit Separator	1	-8	-41	40	N/A	47	-11	17

Shaded rows show data for groups of practices (i.e., dry ponds include quality control ponds and dry extended detention ponds).

Numbers in italics are based on fewer than five data points.

* Excludes vertical sand filters.

[†] Refers to open channel practices not designed for water quality.

TSS=total suspended solids, TP=total phosphorus, OP=ortho-phosphorus, TN=total nitrogen, NOx=nitrate and nitrite nitrogen, Cu=copper, Zn=zinc.

- INTERNATIONAL STORMWATER BMP DATABASE, BMP PERFORMANCE DATA SUMMARY TABLE, November 2011 (www.bmpdatabase.org)

International Stormwater BMP Database

**Table 1. Summary of Inflow and Outflow Data by BMP Category
(Median Values with 95% Confidence Limits for the Median Values)**

		BR	BS	DB	BI	MD	MF	PP	RP	WB	WC
TSS (mg/L)	In	50 (39-68)	21 (15-26)	64 (47-76)	51 (45-59)	41 (36-46)	42 (36-48)	22 (16-28)	60 (49-70)	20 (16-26)	31 (22-42)
	Ef	10 (6-13)	10 (7-11)	24 (19-27)	18 (14-20)	23 (19-25)	8 (6-8)	14 (10-17)	12 (10-12)	8 (6-9)	14 (8-16)
TDS (mg/L)	In	NA	77 (66-79)	100 (83-129)	46 (34-52)	126 (96-165)	38 (27-40)	NA	104 (79-124)	NA	NA
	Ef	NA	70 (56-79)	110 (79-121)	90 (76-98)	87 (72-122)	54 (46-58)	NA	167 (130-181)	NA	NA
Turbidity (NTU)	In	NA	NA	39 (27-50)	NA	6 (5-7)	25 (14-27)	NA	17 (10-20)	NA	NA
	Ef	NA	NA	19 (15-26)	NA	4 (4-5)	5 (4-6)	NA	1 (1-1)	NA	NA
Phosphorus (Total) (mg/L)	In	0.14 (0.12-0.15)	0.26 (0.21-0.26)	0.16 (0.14-0.19)	0.12 (0.09-0.16)	0.22 (0.16-0.22)	0.19 (0.16-0.20)	0.12 (0.09-0.13)	0.27 (0.23-0.29)	0.12 (0.10-0.12)	0.18 (0.15-0.22)
	Ef	0.13 (0.10-0.16)	0.21 (0.18-0.23)	0.21 (0.16-0.23)	0.20 (0.17-0.20)	0.14 (0.11-0.14)	0.10 (0.08-0.11)	0.10 (0.07-0.11)	0.11 (0.08-0.11)	0.08 (0.06-0.08)	0.14 (0.11-0.15)
Ortho-P (mg/L)	In	0.04 (0.01-0.04)	NA	0.04 (0.03-0.04)	0.03 (0.03-0.03)	0.21 (0.13-0.25)	0.04 (0.03-0.05)	NA	0.11 (0.09-0.13)	0.05 (0.04-0.06)	0.05 (0.02-0.05)
	Ef	0.16 (0.07-0.45)	NA	0.08 (0.05-0.10)	0.12 (0.11-0.13)	0.12 (0.07-0.13)	0.02 (0.02-0.03)	NA	0.04 (0.04-0.05)	0.02 (0.02-0.03)	0.06 (0.03-0.07)
Phosphorus (D) (mg/L)	In	NA	0.09 (0.07-0.10)	0.08 (0.06-0.08)	0.09 (0.06-0.11)	0.08 (0.05-0.11)	0.10 (0.07-0.11)	NA	0.11 (0.08-0.11)	0.08 (0.05-0.09)	0.08 (0.07-0.10)
	Ef	NA	0.09 (0.06-0.11)	0.23 (0.16-0.26)	0.30 (0.21-0.35)	0.07 (0.05-0.08)	0.09 (0.08-0.11)	NA	0.06 (0.04-0.06)	0.04 (0.03-0.04)	0.09 (0.07-0.10)
Nitrogen (Total) (mg/L)	In	1.38 (1.25-1.59)	1.40 (1.13-1.62)	NA	0.59 (0.50-0.63)	2.25 (1.98-2.65)	1.02 (0.85-1.39)	NA	1.75 (1.50-1.90)	1.14 (1.05-1.28)	1.62 (1.38-1.89)
	Ef	1.09 (0.98-1.24)	2.45 (1.77-2.75)	NA	0.62 (0.54-0.66)	2.21 (1.85-2.34)	0.77 (0.67-0.91)	NA	1.27 (1.16-1.35)	1.21 (1.06-1.21)	1.78 (1.40-2.00)
TKN (mg/L)	In	1.10 (0.92-1.20)	1.40 (1.11-1.42)	1.50 (1.40-1.60)	0.70 (0.46-0.86)	1.60 (1.43-1.75)	1.20 (0.92-1.25)	1.50 (1.10-2.20)	1.30 (1.15-1.36)	0.99 (0.62-1.05)	1.60 (1.20-1.70)
	Ef	1.01 (0.84-1.30)	1.60 (1.20-1.80)	1.30 (1.10-1.40)	0.50 (0.43-0.62)	1.51 (1.40-1.60)	0.71 (0.61-0.80)	1.15 (0.91-1.35)	1.10 (1.00-1.15)	1.06 (0.95-1.13)	1.20 (0.90-1.30)
Nitrate (NO ₃) (mg/L)	In	0.30 (0.26-0.35)	0.50 (0.36-0.53)	0.63 (0.48-0.68)	0.30 (0.25-0.35)	0.38 (0.33-0.40)	0.34 (0.29-0.38)	0.66 (0.49-0.77)	0.40 (0.32-0.42)	0.21 (0.15-0.23)	0.55 (0.39-1.15)
	Ef	0.23 (0.17-0.27)	0.38 (0.22-0.47)	0.42 (0.33-0.51)	0.28 (0.23-0.30)	0.43 (0.38-0.45)	0.53 (0.45-0.63)	1.00 (0.83-1.23)	0.15 (0.11-0.16)	0.08 (0.05-0.10)	0.62 (0.33-0.96)
TOC (mg/L)	In	NA	13 (11-17)	9 (8-10)	13 (11-20)	27 (23-28)	12 (8-14)	NA	14 (13-15)	NA	NA
	Ef	NA	13 (11-16)	13 (11-13)	13 (11-14)	23 (19-26)	11 (8-12)	NA	11 (10-11)	NA	NA
Fecal Coliform (#/100 mL)	In	NA	NA	749 (303-7563)	2628 (1116-18620)	993 (499-2187)	605 (179-1112)	NA	1971 (521-2673)	NA	NA
	Ef	NA	NA	813 (196-3647)	4724 (2852-18572)	2462 (1438-3431)	216 (101-464)	NA	133 (35-411)	NA	NA

Metals (µg/L)		BR	BS	DB	BI	MD	MF	PP	RP	WB	WC
As	In	NA	0.5* (0.5-0.6)	1.1 (0.8-1.2)	0.6* (0.5-0.7)	NA	0.5 (0.5-0.6)	NA	NA	NA	NA
	Ef	NA	0.6* (0.5-0.7)	1.1 (0.8-1.2)	0.8* (0.5-1.0)	1.0 (1.0-1.2)	0.6 (0.5-0.6)	NA	NA	NA	NA
As	In	NA	1.7 (1.2-1.9)	2.5 (1.9-2.6)	0.9 (0.6-1.0)	1.3 (1.0-1.6)	1.0 (0.8-1.2)	DL	1.3 (1.0-1.8)	NA	NA
	Ef	NA	1.2 (1.0-1.3)	1.8 (1.2-1.8)	1.0 (0.5-1.0)	1.9 (1.3-2.4)	0.9 (0.7-1.0)	DL	1.0 (0.5-1.0)	NA	NA
Cd	In	NA	0.2 (0.2-0.3)	0.5* (0.5-0.5)	0.2 (0.2-0.2)	1.0* (1.0-1.0)	0.2 (0.2-0.2)	0.1* (0.1-0.1)	0.3* (0.3-0.3)	0.4* (0.1-0.5)	NA
	Ef	NA	0.2 (0.1-0.2)	0.5* (0.5-0.5)	0.2 (0.1-0.2)	1.0* (0.5-1.0)	0.2 (0.1-0.2)	0.1* (0.1-0.1)	0.1* (0.1-0.1)	0.5* (0.1-0.5)	NA
Cd	In	NA	0.5 (0.4-0.5)	0.5* (0.5-0.5)	0.5 (0.4-0.6)	1.0* (1.0-1.0)	0.4 (0.3-0.4)	DL	0.6 (0.5-0.8)	0.3 (0.2-0.3)	2.4* (0.5-2.5)
	Ef	NA	0.3 (0.3-0.3)	0.5* (0.5-0.5)	0.2 (0.2-0.2)	1.0* (0.6-1.0)	0.2 (0.1-0.2)	DL	0.4 (0.3-0.5)	0.5 (0.1-0.5)	0.5* (0.5-0.5)
Cr	In	NA	1.3 (1.0-1.4)	2.6 (1.4-3.1)	1.9 (1.4-2.1)	2.5 (2.5-2.5)	1.0 (1.0-1.0)	DL	2.0 (1.0-2.0)	NA	NA
	Ef	NA	1.2 (1.0-2.7)	1.9 (1.2-2.0)	1.6 (1.2-1.7)	2.5 (2.5-2.5)	1.0 (1.0-1.0)	DL	1.0 (1.0-1.0)	NA	NA
Cr	In	NA	2.9 (1.8-5.8)	6.7 (4.9-7.5)	4.9 (3.8-5.6)	3.6 (2.5-4.0)	2.3 (1.6-2.5)	DL	5.0 (4.0-5.0)	NA	4.5 (2.7-5.0)
	Ef	NA	2.2 (1.5-3.3)	3.2 (2.2-3.5)	2.7 (2.3-3.3)	2.6 (2.5-3.5)	1.0 (1.0-1.0)	DL	2.0 (1.0-2.0)	NA	4.0 (1.0-4.0)
Cu	In	NA	8.9 (7.9-11.0)	5.3 (3.7-6.9)	11.1 (8.7-13.0)	7.0 (6.0-8.0)	5.4 (4.5-6.5)	5.5 (3.8-5.6)	7.5 (7.0-8.2)	5.9 (4.8-8.0)	NA
	Ef	NA	7.9 (6.7-9.2)	4.8 (3.0-5.3)	5.3 (4.6-5.9)	6.0 (5.0-7.0)	4.2 (3.6-5.3)	6.0 (5.6-7.0)	5.0 (4.0-5.0)	5.0 (5.0-5.5)	NA
Cu	In	18 (12-23)	12 (10-15)	10 (6-10)	24 (20-27)	14 (12-15)	15 (13-15)	13 (11-19)	10 (10-10)	6 (5-7)	10 (6-10)
	Ef	9 (6-11)	8 (7-9)	7 (5-9)	7 (6-8)	11 (9-12)	7 (5-8)	10 (9-11)	6 (5-6)	4 (3-4)	8 (5-10)
Pb	In	NA	1.2 (1.0-1.4)	1.9* (1.0-2.5)	1.0 (1.0-1.0)	5.0* (3.4-5.0)	1.0 (1.0-1.0)	DL	1.8* (1.5-2.7)	1.0 (0.5-1.0)	9.0 (0.5-12)
	Ef	NA	1.1 (1.0-2.1)	2.0* (1.0-2.5)	0.5 (0.5-0.5)	2.6* (1.5-3.4)	1.0 (1.0-1.0)	DL	1.5* (1.0-1.5)	1.0 (1.0-2.0)	6.4 (0.5-25)
Pb	In	NA	4.3 (3.4-6.4)	10.0 (5.0-10.0)	8.6 (6.3-11.0)	7.9 (5.9-12.0)	10.0 (6.9-10.0)	5.9 (5.0-7.6)	10.0 (8.0-10.0)	2.0 (1.6-2.3)	10.0 (10.0-10.0)
	Ef	NA	2.0 (2.0-2.0)	5.0 (2.5-7.9)	2.0 (1.3-2.2)	5.0 (5.0-5.0)	1.5 (1.1-1.5)	2.5 (2.5-2.5)	3.0 (2.0-3.0)	1.0 (1.0-1.0)	6.4 (3.6-10.0)
Ni	In	NA	4.3 (2.0-4.5)	2.6 (2.0-3.7)	2.7 (2.1-2.9)	2.0* (1.0-2.0)	2.0 (2.0-2.0)	1.0* (1.0-1.0)	10.0* (1.6-10.0)	NA	NA
	Ef	NA	2.0 (2.0-2.0)	2.6 (2.0-3.2)	2.1 (2.0-2.2)	2.4* (2.0-2.8)	2.0 (2.0-2.0)	0.5* (0.5-0.5)	10.0* (2.3-10.0)	NA	NA
Ni	In	NA	6.9 (4.8-9.6)	6.5 (5.0-10.0)	4.9 (4.3-5.3)	5.0 (3.0-5.5)	3.6 (3.2-4.2)	2.8 (2.5-3.3)	6.0 (4.0-7.7)	NA	4.5 (3.0-10.0)
	Ef	NA	3.0 (2.4-4.3)	3.7 (2.4-4.5)	2.9 (2.4-3.2)	5.0 (4.0-5.0)	2.3 (2.0-2.8)	1.8 (1.6-2.1)	2.8 (2.1-5.0)	NA	3.0 (2.0-3.0)
Zn	In	NA	45 (35-56)	15 (9-17)	39 (33-47)	47 (37-58)	52 (37-60)	12 (9-13)	23 (20-28)	45 (35-66)	10* (10-10)
	Ef	NA	25 (22-29)	13 (8-17)	14 (11-18)	54 (45-64)	12 (9-17)	7 (6-9)	10 (10-10)	19 (10-23)	10* (10-10)
Zn	In	74 (66-94)	40 (30-40)	66 (40-107)	99 (80-110)	90 (79-97)	90 (80-101)	62 (49-81)	53 (49-60)	52 (45-60)	30 (20-30)
	Ef	20 (10-26)	30 (30-30)	24 (15-35)	24 (17-27)	60 (53-65)	15 (15-20)	18 (15-20)	20 (17-20)	20 (16-24)	15 (11-20)

Table Notes

Explanation of Data Provided:

Table Entry			Explanation
Zn T	In	74	Median influent total zinc value
		(66-94)	95% confidence interval for median influent zinc value
	Ef	20	Median effluent total zinc value
		(10-26)	95% confidence interval for median effluent zinc value

* = Greater than 50% non-detects in the influent

NA = Not available for analysis

DL = Data set has greater than 80% non-detects; summary statistics have been excluded from this table

BMP Type:

BR = Bioretention (with underdrains)
 BS = Biofilter - grass swale
 DB = Detention basin (dry, grass-lined)
 BI = Biofilter - grass strip
 MD = Manufactured device (all categories)
 MF = Media filter (all categories)
 PP = Permeable pavement (all categories)
 RP = Retention pond (wet pond)
 WB = Wetland basin
 WC = Wetland channel

Parameter-related Acronyms:

TSS = Total suspended solids
 TDS = Total dissolved solids
 Ortho-P = Phosphorus, Orthophosphate as Phosphorus
 TKN = Total Kjeldahl nitrogen
 TOC = Total organic carbon
 As = Arsenic
 Cd = Cadmium
 Cr = Chromium
 Cu = Copper
 Pb = Lead
 Ni = Nickel
 Zn = Zinc

Sample Type:

In = influent
 Ef = effluent

Units:

mg/L = milligrams per liter
 µg/L = micrograms per liter (for metals)
 NTU = nephelometric turbidity units (for turbidity)
 #/100 mL = colonies per 100 milliliters (for bacteria)

Sample Fraction:

D = Dissolved
 T = Total

- ANEJO 6 -

EL PAPEL DE LAS EDAR EN LA GESTIÓN DE LAS AGUAS PLUVIALES

Cuando las redes son unitarias, la gestión de las aguas pluviales depende en gran medida de que el funcionamiento de la EDAR de todo el sistema de saneamiento sea el adecuado. Por ello, se dedica este anejo al análisis de las principales técnicas avanzadas de gestión de las EDAR y de las ventajas y posibilidades que ofrece una adecuada instrumentación y monitoreo de las mismas.

1- TECNICAS AVANZADAS DE GESTION OPTIMIZADA DE EDARS

Pretratamiento: El pretratamiento no suele verse alterado excesivamente por las aguas pluviales ya que el sobredimensionamiento de las instalaciones de desbaste no representa un problema. En tiempo de lluvia se puede llegar a extraer por las rejillas o tamices de desbaste de 5 a 10 veces más de residuos que en tiempo seco; para las arenas este incremento puede ser de 2 a 20 veces, como resultado del mayor lavado y arrastre de la superficie de la cuenca y de la red de saneamiento. La eliminación de arenas es importante para evitar problemas en las etapas posteriores (digestores, tanques de aireación, etc) y en los conductos y bombas. La frecuencia de extracción de residuos deberá aumentar en estos periodos.

Tratamiento primario: El problema crítico de los decantadores primarios durante el suceso es la sobrecarga hidráulica, que aumenta la velocidad ascensional y disminuye el tiempo de retención hidráulica, por tanto, se pueden resuspender los fangos acumulados en el fondo. Los llamados cortocircuitos hidráulicos, pueden ser más frecuentes en un decantador durante los sucesos de lluvias; para combatir este efecto se utilizan los deflectores. En los decantadores circulares, con tubo central de alimentación, los cortocircuitos hidráulicos tienden hacia las paredes atravesando el manto de fangos e intentando arrastrar los sólidos hacia los vertederos de salida; aquí los deflectores se colocan anexos a la pared del vertedero, formando ángulos de 45-60 grados, para reorientar la corriente hacia el interior del tanque y alejarla así del vertedero de salida. En los decantadores rectangulares, la ubicación de los deflectores requiere estudio.

Durante el suceso de lluvia la carga de sólidos que llega a la decantación aumenta, pudiendo llegar a quintuplicarse la masa a eliminar y duplicarse el volumen, por tanto, los ciclos de extracción de fangos del fondo habrá que aumentarlos. Como ya se ha comentado, una de las características de los sólidos en suspensión que arrastra la escorrentía urbana es su buena sedimentabilidad y las altas carga orgánicas y otros contaminantes, que pueden arrastrar al fondo de los decantadores primarios.

Los metales pesados y otros microcontaminantes aumentarán su presencia y habrá que considerar su gestión adecuada. El tratamiento físicoquímico y la flotación tienen gran flexibilidad de operación y adaptabilidad a las variaciones de caudal y carga. Los cambios de dosificación proporcionales al caudal son simples. Otra opción es el uso de decantadores lamelares de alta tasa, cuya ocupación de suelo puede ser equivalente a 1/3 de la de un decantador convencional.

Otro problema añadido es el paso de una punta de nitrógeno amoniacal y de cualquier compuesto soluble que puede llegar al final de la EDAR.

Tratamiento secundario: En fangos activos para prevenir la pérdida de flóculos se recomienda: modificar el modo de operar (p.e.: contacto-estabilización); ajustar la recirculación; mantener los SSLM en el límite bajo del rango de funcionamiento; controlar el crecimiento de filamentosas, y disponer de volumen adicional para retener la biomasa. La variante de contacto-estabilización reduce la pérdida de biomasa, los SSLM en la cámara de reaeración están protegidos del caudal afluente. También, se tiende al diseño de decantadores secundarios más profundos (calado: 5 a 6 m) para no perturbar el manto de fangos. En Alemania, los decantadores secundarios se diseñan para caudal máximo en tiempo de lluvia teniendo en cuenta el IVF (índice volumétrico de fangos) y el tiempo de compresión del fango. Con Vasc menor de 0.5 m/h, la concentración de SS efluente no debería superar 20 mg/L. Los procesos biopelícula son menos sensibles a las sobrecargas hidráulicas, ya que no presentan lavado de biomasa del reactor. No obstante, para minimizar el efecto de sobrecargas se podría: reducir o parar la recirculación (lechos y biodiscos); ajustar la velocidad de giro de los brazos distribuidores (lechos); disponer en paralelo los lechos cuando éstos funcionen en serie normalmente. Como solución de tratamiento secundario se ha planteado el uso de: procesos extensivos (lagunas, humedales); procesos de baja carga; almacenamiento de biomasa en depósitos aireados o en el propio proceso; de procesos en serie que pasan a funcionar en paralelo en tiempo de lluvia; etc. El mantenimiento de la biomasa activa y los problemas biológicos derivados de la carga variable son importantes cuestiones a resolver para diseñar sistemas adaptados a situaciones intermitentes de tiempo lluvia/tiempo seco.

Tratamiento terciario: En los procesos de nitrificación el parámetro fundamental es la edad del fango aerobio y para la desnitrificación se utilizan tasas de reacción para calcular el volumen el reactor. En el tanque de desnitrificación (pre o post nitrificación), la DBO disponible se debe compensar con los nitratos eliminados. Un diseño aconsejable es la colocación de turbinas de aireación en todos los tanques, tanto aeróbicos como anóxicos, porque hay una mayor flexibilidad en la explotación frente a las variaciones de temperatura, optimizando el gasto de energía, el mantenimiento de la biomasa nitrificante y los rendimientos del proceso.

Durante las puntas de caudal los procesos de nitrificación y desnitrificación pueden verse muy alterados; las cargas de nitrógeno amoniacal en redes unitarias aumentan notablemente y este fenómeno se puede acentuar si en los reactores no hay suficiente capacidad de aireación y/o disminuye la biomasa por arrastre. Los procesos de eliminación de nutrientes se ven alterados también por variaciones de otros parámetros como la temperatura, la alcalinidad, el pH o la conductividad. Para la desnitrificación, la disminución de la materia orgánica fácilmente biodegradable junto con la menor tasa de nitrificación y con la disminución del tiempo de retención hidráulica en el reactor de desnitrificación (motivado por el aumento de la recirculación para mantener los SSLM), provocan una alteración del proceso; esto produce un aumento de las concentraciones de los nitratos en el efluente del proceso que pueden requerir más de 10 horas para volver a valores normales del régimen de funcionamiento de tiempo seco.

En plantas con filtros de arena, la sobrecarga de caudales provoca atascamientos prematuros del lecho por los escapes de sólidos y excesiva pérdida de carga por la sobrecarga hidráulica. Como posibles recomendaciones se propone colocar todos los filtros en servicio si el número instalado es superior al necesario, lavar los filtros antes de la llegada de la sobrecarga, reducir los tiempos de lavado mientras dure la sobrecarga y reducir el manto de fangos en el secundario para minimizar el escape de flóculos biológicos hacia los filtros.

La contaminación bacteriológica también se ve muy afectada, ya que la desinfección del efluente está dimensionada para el caudal máximo de vertido. Como remediación, en estos sistemas de desinfección por UV se propone poner en marcha todas las unidades, confirmando que todas las lámparas y balastos están operativos y limpiar las lámparas antes de la llegada de la sobrecarga.

Línea de tratamiento de fangos: Si bien esta línea no sufre directamente los efectos del exceso de caudal, puede verse afectada por las operaciones de explotación de la EDAR. Estos efectos pueden ser el exceso de sólidos durante el primer lavado, eficiencia muy baja en el tratamiento de aguas o líquidos de retorno y la incapacidad para conseguir un buen grado de secado (en lechos o eras de secado).

Como ya se ha comentado, la generación de cantidades importantes de fangos primarios y secundarios y terciarios, hace que las instalaciones deben estar dimensionadas para hacer frente a estos valores máximos.

La mayor componente inorgánica, puede dar como resultado una aparente disminución del volumen de los tanques de estabilización de fangos, así como problemas operacionales al acumular material más pesado en los depósitos. El desbaste y desarenado del fango, así como la mejora de los procesos (mayor energía de mezclado, limpieza de depósitos) son buenas prácticas para evitar estos problemas.

2- MODELIZACION, INSTRUMENTACION Y CONTROL ADECUADOS DE UNA EDAR PARA COLABORAR EN LA GESTIÓN DE LAS AGUAS PLUVIALES.

Una óptima estrategia de explotación en tiempo de lluvia de una EDAR, además de intentar minimizar el impacto sobre el tratamiento, debería permitir recuperar cuanto antes, las características de explotación durante tiempo seco. El desarrollo de la tecnología de adquisición de datos y de los modelos de simulación de procesos de tratamiento en estado dinámico, pueden permitir un mejor diseño y control de la explotación de los procesos de depuración, incluso en tiempo real. Sólo con la integración del sistema de gestión de la EDAR junto con los sistemas de control en tiempo real de la red de saneamiento y los modelos de gestión de la calidad de las aguas en los medios acuáticos receptores de los vertidos (reboses y efluentes), se podrá conseguir la optimización de la EDAR, tanto en diseño como en explotación.

En la actualidad, la tecnología cuenta ya con instrumentación de campo para medir DBO, COT, formas de Nitrógeno, fósforo, etc, y se cuenta con diversos modelos de simulación de procesos, como son los modelos de fangos activos ASM1, ASM2, ASM2D, ASM3 de la IWA (2000), para la eliminación de materia orgánica carbonosa, nitrógeno y fósforo, el GPS-X, o General Purpose Simulator (GPS), sistema modular que simula el control de explotación en plantas (Hydromantis, 1993), el Aquasim (EAWAG, 1994), del Swiss Federal Institute for Environmental Science and Technology, programa general de simulación de sistemas acuáticos, capaz de simular procesos de fangos activos o procesos de biopelícula, o el desarrollado por el CEIT (Centro de Estudios e Investigaciones Técnicas de Guipúzcoa, 1991) en el proyecto Eureka EU-670, que incorpora el modelo IWA.

La integración en un modelo de los tres sistemas (red, EDAR y masa receptora) es muy compleja porque el proceso principal a ser modelizado es distinto en cada uno de ellos. Por ejemplo, la hidráulica de alcantarillas fue estudiada en el pasado en detrimento de la composición de las aguas residuales; los procesos biológicos en la red, puede que no sean muy importantes al calcular las cargas por DSU, pero pueden ser necesarios al determinar la carga afluente a una EDAR. Aquí los sistemas de control remoto automático optimizan el ajuste de compuertas, válvulas y niveles de vertederos durante el suceso de tormenta; estos controles mejoran la explotación de la EDAR, reduciendo incluso las DSU y maximizando el almacenamiento en la red (Field et al., 2000). Un caso muy conocido es el control de O₂ disuelto en el tanque de aireación del proceso de fangos activos.

Por otra parte, los estudios tendentes a la optimización de sistemas de saneamiento son muy complejos. Langeveld et al. (2002) analizaron cómo de significativo podía ser el efecto de cada proceso producido en la red de alcantarillado (hidrodinámicos, de mezcla, advección, dispersión,

reacciones, sedimentación, resuspensión y/o transporte de sedimentos) sobre el funcionamiento de una EDAR y la conclusión más importante a la que llegaron, fue que cambios cortos (duración 1 hora), con excepción del caudal a concentración constante de contaminantes, no tiene efectos significativos sobre el rendimiento de la EDAR.

Como conclusión, es necesario abandonar los enfoques parciales del problema del saneamiento urbano (drenaje superficial urbano, red de saneamiento, diseño de aliviaderos, sistemas de control y tratamiento de reboses en red, EDAR, gestión de calidad de aguas naturales) y analizar globalmente todo el sistema si se pretende avanzar en la solución del problema.

Herramientas De simulación del medio natural: Tanto los vertidos de las redes de saneamiento como los de las depuradoras son recogidos en el medio natural. Las herramientas de simulación del medio natural son modelos simplificados del mismo que contienen desde soluciones analíticas hasta soluciones numéricas de ecuaciones diferenciales en derivadas parciales obtenidas mediante aplicaciones informáticas.

Estos modelos tienen su aplicación en:

- Estudio del proceso de eutrofización en un embalse o lago como consecuencia de vertidos por contaminación difusa (agricultura y ganaderia)
- Diseño ambiental de un saneamiento
- Estudio de evoluciones de vertidos en un río

Un modelo del medio natural está basado en las siguientes ecuaciones:

- Ecuaciones que definen el movimiento de la masa (ecuaciones de conservación de la masa y cantidad de movimiento)
- Ecuación de advección-dispersión-reacción que define el movimiento y evolución de un sustancia disuelta o en suspensión.

Todas estas ecuaciones se simplifican en función del tipo de problema que tengamos, siendo muy importante los datos de campo para la calibración del modelo. Entre los modelos más utilizados están:

-QUAL2E-QUAL2K

- WASP

- HEC-RAS

- AQUAMAP

- IBER-TURBILLON

PLANO RED DE SANEAMIENTO AREA METROPOLITANA DE ZARAGOZA

